

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования  
«Гомельский государственный технический  
университет имени П. О. Сухого»

Кафедра «Технология машиностроения»

**С. А. Щербаков**

## **ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ОСНАСТКА**

**Учебное пособие**

*Рекомендовано учебно-методическим объединением  
Республики Беларусь по образованию в области  
машиностроительного оборудования в качестве  
учебного пособия для студентов высших учебных заведений,  
обучающихся по специальности 1-36 01 01  
«Технология машиностроения»*

**Электронный аналог печатного издания**

**Гомель 2015**

УДК 621.9.06-229(075.8)  
ББК 34.5я73  
Щ61

Рецензенты: зав. каф. «Технология машиностроения» Брестского государственного  
технического университета канд. техн. наук, доц. *О. А. Медведев*;  
гл. технолог РУП ГЗСК *А. А. Митрохович*

**Щербаков, С. А.**

Щ61 Технологическая оснастка : учеб. пособие / С. А. Щербаков ; М-во образования  
Респ. Беларусь, Гомел. гос. техн. ун-т им. П. О. Сухого. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого,  
2015. – 202 с. – Систем. требования: PC не ниже Intel Celeron 300 МГц ; 32 Mb RAM ; сво-  
бодное место на HDD 16 Mb ; Windows 98 и выше ; Adobe Acrobat Reader. – Режим дос-  
тупа: <http://library.gstu.by/StartEK/>. – Загл. с титул. экрана.

ISBN 978-985-535-230-4.

Изложены основные сведения о типовых представителях технологической оснастки со  
ссылками на справочную и учебную литературу. Приведены иллюстрации и информация по оп-  
ределению экономической целесообразности применения спроектированного приспособления,  
расчетных параметров, оптимальной схемы установки, необходимого усилия закрепления заго-  
товки, выбору привода.

Для студентов специальности 1-36 01 01 «Технология машиностроения».

УДК 621.9.06-229(075.8)  
ББК 34.5я73

ISBN 978-985-535-230-4

© Щербаков С. А., 2015  
© Учреждение образования «Гомельский  
государственный технический университет  
имени П. О. Сухого», 2015

## Оглавление

Введение.....	6
ГЛАВА 1. ЭКОНОМИЧНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ .....	12
1.1. Определение экономичности применения стандартных систем приспособлений .....	12
1.2. Определение экономического эффекта от применения приспособления .....	15
ГЛАВА 2. ОСНОВЫ БАЗИРОВАНИЯ .....	18
2.1. Термины и определения баз и базирования в машиностроении по ГОСТ 21495–76.....	18
2.2. Комплекты баз и расположение опорных точек в них.....	22
2.3. Технологическое базирование .....	26
2.4. Выбор технологических баз .....	36
ГЛАВА 3. СХЕМЫ УСТАНОВКИ .....	38
3.1. Структура погрешности установки заготовки .....	38
3.2. Установка на плоскость .....	41
3.3. Установка заготовок в призмы.....	45
3.4. Установка заготовок в самоцентрирующих патронах.....	51
3.5. Установка цилиндрических заготовок во втулку.....	52
3.6. Установка заготовок с базовым отверстием.....	55
3.7. Установка на внешние цилиндрические поверхности с пересекающимися осями.....	59
3.8. Установка заготовок на внутренние цилиндрические поверхности с пересекающимися (перекрещивающимися) осями .....	60
3.9. Установка заготовок на центровые гнезда и конические фаски .....	61
3.10. Установка заготовок на три и четыре центровых гнезда .....	65
3.11. Установка на плоскость и отверстие с осью, параллельной плоскости.....	66
3.12. Установка заготовки на плоскость и два отверстия, перпендикулярных к ней .....	70
3.13. Расчет размеров установочных пальцев при установке заготовки на плоскость и два базовых отверстия .....	74
3.14. Установка заготовки на плоскость и три отверстия, перпендикулярных к ней .....	77
ГЛАВА 4. ПРОЕКТИРОВАНИЕ СТАНОЧНЫХ ПРИСПОСОБЛЕНИЙ... ..	80
4.1. Этапы проектирования станочного приспособления .....	80
4.2. Этапы конструирования приспособления.....	81
4.3. Принципы конструирования приспособлений .....	85

ГЛАВА 5. ТОЧНОСТЬ ПРИСПОСОБЛЕНИЙ.....	86
5.1. Структура погрешности приспособления.....	86
5.2. Определение допустимой погрешности приспособления $[\varepsilon_{пр}]$ .....	90
5.3. Принципы выбора схемы установки заготовки, обеспечивающие наибольшую точность при обработке .....	92
5.4. Последовательность расчета приспособления на точность .....	94
5.5. Проверка допустимости принятой схемы установки .....	96
5.6. Определение расчетных параметров для элементов приспособлений .....	97
5.7. Расчет размеров и допусков расположения кондукторных штулок.....	100
ГЛАВА 6. СИЛОВЫЕ РАСЧЕТЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОСНАСТКИ.....	104
6.1. Определение необходимого усилия закрепления заготовки .....	104
6.2. Пример определения необходимого усилия закрепления заготовки при сверлении.....	108
6.3. Силы и моменты трения в силовых расчетах технологической оснастки .....	114
6.4. Определение силы привода для клинового зажимного механизма одностороннего действия .....	116
6.5. Расчет винтового зажимного механизма .....	119
6.6. Цанговые зажимные механизмы.....	123
6.7. Применение рычажных механизмов в оснастке .....	125
6.8. Определение силы привода с учетом сил трения для шарнирных прихватов.....	127
6.9. Определение силы привода для Г-образного прихвата.....	132
6.10. Реечные зажимные механизмы .....	134
6.11. Расчет геометрических параметров эксцентриковых зажимов ....	135
6.12. Определение силы привода для кругового эксцентрика.....	138
6.13. Мембранные патроны .....	141
6.14. Применение и расчет зажимных механизмов с гидропластом.....	145
6.15. Усилители клинового типа .....	148
6.16. Выбор материалов и расчет оснастки на прочность.....	151
ГЛАВА 7. ВЫБОР МЕХАНИЧЕСКОГО ПРИВОДА .....	154
7.1. Расчет пневмопривода .....	154
7.2. Вакуумный привод .....	156
7.3. Гидравлический привод.....	157
7.4. Пневмогидравлический привод .....	159
7.5. Магнитный привод.....	161
7.6. Электромеханический привод.....	162
7.7. Центробежно-инерционный привод.....	164

ГЛАВА 8. ТИПОВЫЕ КОНСТРУКЦИИ ОСНАСТКИ .....	165
8.1. Основные конструкции оправок .....	165
8.2. Расчет конических оправок .....	166
8.3. Расчет оправки для установки заготовки по отверстию с зазором .....	168
8.4. Особенности конструкций приспособлений (кондукторов) для сверлильных станков .....	170
8.5. Приспособления для растачивания отверстий .....	174
8.6. Инструменты и направляющие элементы расточных приспособлений .....	176
8.7. Приспособления для фрезерных станков .....	179
8.8. Проектирование кассетных фрезерных приспособлений .....	181
8.9. Приспособления для зуборезных станков .....	184
8.10. Основные конструкции оснастки для автоматизированного производства .....	186
8.11. Конструирование сборочных приспособлений .....	188
8.12. Методы и точность измерений .....	190
8.13. Определение точности средств измерений .....	191
8.14. Оснастка для измерений и контроля отклонений формы поверхностей .....	192
8.15. Оснастка для измерений и контроля расположения и шероховатости поверхностей .....	194
8.16. Основные особенности проектирования и изготовления технологической оснастки .....	196
8.17. Приемка и техническое обслуживание оснастки .....	198
Литература .....	201

# ВВЕДЕНИЕ

## 1. Основные понятия дисциплины «Технологическая оснастка»

Технологическая оснастка (ТО) по ГОСТ 3.1109–82 – это средства технического оснащения, дополняющие технологическое оборудование, для выполнения определенной части техпроцесса.

Примеры ТО – строжневые ящики, литейные формы, штампы, приспособления, инструменты, модели, калибры и т. п.

В техпроцессах механической обработки (на настроенных станках) самой ответственной частью ТО являются приспособления.

*Приспособления (П)* – это дополнительные устройства к оборудованию, применяемые при выполнении операций обработки, сборки, контроля и испытания заготовок, деталей и изделий.

*Деталь* – это предмет основного производства, изготовленный из однородного материала без применения сборочных операций.

*Изделие* – это предмет производства, изготавливаемый на предприятии. Все представители ТО, а также машины, механизмы, агрегаты или детали в процессе производства на машиностроительном предприятии являются изделиями.

Множество приспособлений, которое создается на основе единых правил с целью обеспечения единства их изготовления и использования в определенных организационно-технических условиях производства деталей, называется *системой приспособлений*.

С помощью технологической оснастки механическая обработка производится в условиях автоматического получения необходимой точности на настроенных станках, при этом устраняется разметка и выверка заготовок, сокращается время их установки, возрастает производительность труда, создаются возможности совмещенной обработки, механизации и автоматизации, многостаночного обслуживания, улучшаются условия и безопасность труда, снижается требуемая квалификация и количество рабочих.

Основное назначение ТО – обеспечение требуемых *параметров точности (ПТ)*, указанных на чертежах деталей (изделий), *операционных эскизах оснащаемых операций* или в технических требованиях к ним при обработке, транспортировке, измерениях, сборке с учетом минимальной себестоимости производства продукта.

*Параметры точности* – это линейные и угловые размеры, допуски к ним, допуски взаимного расположения, допуски формы, ше-

роховатость поверхностей, регламентированные техническими требованиями чертежа, операционного эскиза, техническими условиями или требованиями стандартов.

*Оснащаемая операция* – операция, для которой предназначена ТО.

*Поступающая заготовка* – заготовка, которая устанавливается и будет обрабатываться на оснащаемой операции.

*Операционный эскиз* – графическое изображение заготовки, обработанной на рассматриваемой операции (*заготовки выходящей* после операции), на котором обрабатываемые поверхности изображаются толстыми линиями с указанием выдерживаемых параметров точности, и с условным обозначением опор и зажимных элементов, дающих представление о принятой *схеме установки*.

*Схема установки* – это схема базирования и закрепления заготовки.

Применение приспособлений расширяет возможности использования универсальных станков в поточном производстве.

Приспособления классифицируют по целевому назначению, степени специализации, механизации, автоматизации, унификации и стандартизации, по технологическим и другим признакам.

Несмотря на большие различия в конструкциях все приспособления имеют сходную структуру и в основном состоят из:

- установочных элементов (опор, пластин, шайб, призм);
- зажимных элементов (прихватов, плунжеров, пят и т. п.), зажимных устройств и их приводов;
- направляющих элементов (кондукторные втулки, установочные (габариты), направляющие втулки), определяющих положение и траектории движения режущих инструментов;
- корпусов;
- вспомогательных элементов и устройств (трубопроводы, краны, запорная и управляющая арматура, транспортные болты и т. п.).

*Базовое приспособление (базовый агрегат)* – конструкция многократного применения, имеющая единые стандартные поверхности для установки сменных наладок, а также приводные, зажимные и вспомогательные механизмы.

*Сменная наладка* – сменная специальная часть приспособления, предназначенная для установки заготовок при выполнении определенных операций или переходов.

*Регулируемая наладка* – часть приспособления, обеспечивающая установку различных заготовок путем регулирования установочных элементов наладки.

## **2. Классификация приспособлений по целевому назначению, степени специализации, механизации и автоматизации**

*По целевому назначению* приспособления делят на 5 групп:

1. *Станочные приспособления (П), предназначенные для установки обрабатываемых заготовок.* По группам оснащаемых станков П бывают: токарные, сверлильные, расточные, шлифовальные, строгальные, зуборезные, фрезерные и т. п.

2. *Приспособления для установки рабочего инструмента* – патроны для сверл, разверток, метчиков, многошпиндельные сверлильные и фрезерные головки, инструментальные державки и блоки.

3. *Сборочные П*, используемые для соединения деталей в изделиях (для крепления базовых деталей, для предварительного деформирования упругих элементов, для запрессовки, клепки и других операций, требующих приложения больших сил).

4. *Контрольные П*, применяемые для проверки заготовок, при промежуточных контролях, при окончательном контроле деталей, сюда также относятся испытательные и контрольно-измерительные стенды для проверки изделий.

5. *Транспортно-кантовальные П*, используемые для захвата, перемещения и перевертывания обрабатываемых деталей и собираемых изделий.

*По степени специализации П* разделяют на 3 группы:

1. *Универсальные П* многоцелевые широко переналаживаемые, включают системы универсальных безналадочных приспособлений (УБП), универсальных наладочных приспособлений (УНП), универсально-сборных приспособлений (УСП).

2. *Специализированные П* – узкоцелевые ограничено переналаживаемые, состоящие из систем специализированных безналадочных приспособлений и специализированных наладочных приспособлений (СНП).

3. *Специальные П* – одноцелевые не переналаживаемые, в состав которых входят системы: неразборных специальных приспособлений (НСП) и сборно-разборных приспособлений (СРП).

*По степени механизации и автоматизации П* подразделяются на ручные, механизированные, полуавтоматические (автоматизированные) и автоматические:

– *ручные* – П, в которых установку, закрепление-открепление и снятие заготовок производят вручную;



– *механизированные* – П, оснащенные зажимом от источника энергии (электрической, магнитной и т. д.);

– *полуавтоматические (автоматизированные)* – П, в которых автоматизируется кроме закрепления-открепления один или несколько приемов работы: загрузка детали в рабочую зону, поворот, перемещение, фиксация и т. п.;

– *автоматические* – П, в которых все приемы работы выполняются без участия рабочего.

По методу компоновки приспособления бывают *агрегатированные* и *неагрегатированные*.

*Агрегатированные* П komponуют из отдельных узлов, часть этих узлов стандартизована и имеет универсальный характер, так как может использоваться в различных П. Обычно к таким узлам относятся приводы П (пнеumoкамеры, гидроцилиндры), управляющая и регулирующая аппаратура и т. п. К агрегатированным П относятся компоновки УСП и СРП, собираемые из высокоточных деталей, сборочных единиц и узлов комплектов УСП и СРП, находящихся на складе, и вновь разбираемых на составные элементы после использования.

### **3. Стандартные системы приспособлений**

В соответствии с ГОСТ 14.305–79 П подразделяются на шесть стандартных систем: *универсальные безналадочные приспособления (УБП), универсальные наладочные приспособления (УНП), специализированные наладочные приспособления (СНП), универсально-сборные приспособления (УСП), сборно-разборные приспособления (СРП), неразборные специальные приспособления (НСП).*

**УБП** предназначены для установки разнообразных деталей на постоянные, регулируемые, несъемные установочные элементы. К ним относятся: различные центры (жесткий, плавающий, вращающийся), поводковые устройства, самозажимные патроны различных типов оправки, магнитные и электромагнитные плиты, 4-кулачковые токарные патроны, машинные тиски и др. УБП общего назначения, фиксирующие заготовки любых деталей и оснащающие широкую номенклатуру операций, эффективны для применения в единичном, специализированном мелкосерийном и серийном производстве однотипных деталей.

**УНП** – состоят из универсального базового агрегата, представляющего собой на 80–90 % готовое П, и специальных наладок, которые станочник может самостоятельно устанавливать на базовый агрегат и регулировать для разных заготовок. Базовый агрегат – это сборочная единица долговременного действия. Базовыми агрегатами

служат стандартизованные на разных уровнях (ГОСТ, ОСТ, СТП) машинные тиски, самоцентрирующие патроны с ручным приводом, планшайбы со сменными элементами и т. п. Настройку УНП для различных деталей производят заменой наладок (установочных и иногда зажимных элементов), монтируемых на базовом агрегате. УНП применяют в единичном и многономенклатурном серийном производстве, использующем групповые методы обработки деталей.

**СНП** – аналогичны УНП, но базовый агрегат у них не универсальный, а специализированный, оснащенный приводом от какого-либо источника энергии, для заготовок различных размеров (в заданном диапазоне), близких по форме и с одинаковой схемой установки. СНП оснащают различными приводами (например, токарные патроны, фрезерные тиски для фрезерования шпоночных канавок с пневматическим приводом, расточные приспособления с гидроприводом и т. п.). СНП применяют в условиях серийного и крупносерийного производства.

**УСП** – komponуют на стандартных плитах различных размеров как обратимые (разборные) специальные П краткосрочного применения. В элементах УСП предусмотрены взаимно-перпендикулярные Т-образные пазы. Фиксация элементов и узлов, изготовленных с высокой точностью, осуществляется с помощью шпонки, входящей в шпоночный паз. УСП выгодно применять в опытном, мелкосерийном и среднесерийном производстве. УСП, предназначенные для использования на металлообрабатывающем оборудовании многоцелевого назначения сверлильно-расточной группы, состоят из базовых, корпусных, установочных, направляющих, зажимных деталей и сборочных единиц, крепежных, деталей пневмо- и гидропривода, арматуры, блокировочных и вспомогательных элементов. Перекомпоновка приспособлений происходит многократно в течение года для оснащения технологии обработки запускаемых в производство партий деталей. Эффективны в период запуска в производство деталей в серийном и крупносерийном производстве. Срок службы УСП 10–12 лет.

**СРП** в отличие от УСП содержат сменные наладки и оригинальные детали, получаемые из стандартных деталей и узлов с частичной дообработкой поверхностей, контактирующих с обрабатываемой заготовкой. Применяются как обратимые П долгосрочного действия, хотя компоновки СРП, как и УСП, собирают из стандартных деталей и сборочных единиц, но применяются они без перекомпоновок. СРП эффективно используют при оснащении трудоемких операций серийного и крупносерийного производства изделий, находящихся в стадии

непрерывного совершенствования или с ограниченным периодом изготовления (до 1,5 лет). То есть СРП – это разновидность УСП, применяемая в средне- и крупносерийном производстве.

**НСП** – служат для оснащения конкретной операции. Эффективны для трудоемких операций устойчивого серийного, крупносерийного и массового производства. Они обеспечивают установку однотипных по форме и размерам заготовок. НСП – списываемые конструкции, не подлежащие разборке после окончания производства оснащаемых ими изделий.

# ГЛАВА 1. ЭКОНОМИЧНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ

## 1.1. Определение экономичности применения стандартных систем приспособлений

Предварительную оценку экономичности (рентабельности) применения системы П выполняют в такой последовательности:

1. По диаграмме (рис. 1) определяют область рационального применения для ближайших стандартных систем П в зависимости от предполагаемого периода времени в месяцах ( $T$ ) выполнения операции и коэффициента загрузки приспособления ( $K_3$ ).

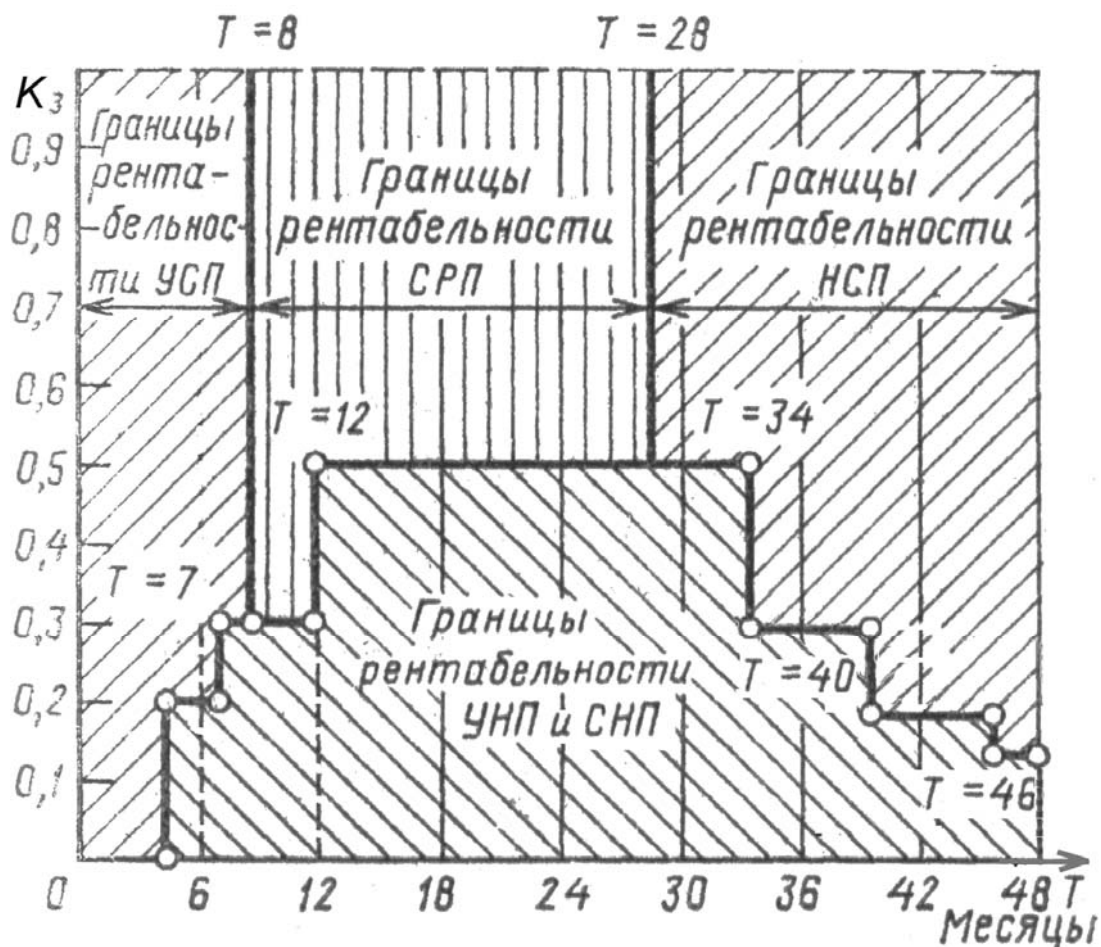


Рис. 1. Диаграмма экономически целесообразного применения стандартных систем приспособлений

2. Определяют варианты приспособлений из сравниваемых стандартных систем и относительные затраты (табл. 1) на оснащение технологических операций этими приспособлениями.





3. Выбирают наиболее рентабельный вариант по величине минимальных относительных затрат.

Коэффициент загрузки П на операции  $K_3$  вычисляется:

$$K_3 = \frac{T \cdot N_M}{F \cdot 60}, \quad (1.1)$$

где  $T$  – штучное или штучно-калькуляционное (для серийного производства) время выполнения технологической операции, мин;  $N_M$  – планируемая месячная программа (количество повторов операции за месяц) на одно приспособление;  $F$  – месячный фонд времени работы приспособления (станка) в часах (в одну смену –  $F = 169$  ч, в две смены –  $F = 318$  ч).

Затраты на оснащение операции приспособлениями из различных систем упрощенно можно определить с помощью соответствующих коэффициентов относительных затрат ( $K_{затр}$ ) по табл. 1.

В этом случае за основу (за единицу) принимают затраты на оснащение операции НСП, которые приравниваются к его себестоимости, т. е. коэффициент затрат для НСП принят равным единице ( $K_{затр \text{ НСП}} = 1$ ).

Для приспособления из другой системы П затраты на оснащение операции определяются по формуле

$$Z_i = C_{\text{НСП}} \cdot K_{затр i}, \quad (1.2)$$

где  $Z_i$  – затраты на оснащение операции приспособлением из  $i$ -й системы П в сравнении с себестоимостью НСП;  $C_{\text{НСП}}$  – себестоимость НСП по [2, табл. 29], в соответствии с количеством наименований оригинальных деталей в приспособлении;  $K_{затр i}$  – коэффициент относительных затрат для приспособления из  $i$ -й системы П по табл. 1.

То приспособление, у которого меньше  $Z_i$ , более эффективно для применения.

## 1.2. Определение экономического эффекта от применения приспособления

Точное определение эффективности применения  $i$ -го приспособления выполняют расчетным путем при сопоставлении годовых затрат на приспособление и экономии от его использования.

Экономии при использовании П в основном получают за счет: снижения трудоемкости обработки детали и соответствующей экономии заработной платы рабочих основного производства, уменьшения расходов на эксплуатацию и амортизацию оборудования, сокращения поломок

инструмента, экономии основного материала за счет уменьшения промежуточных припусков и др.

Методика расчета экономии от снижения трудоемкости обработки детали одинакова для приспособлений всех систем.

Снижение трудоемкости на одну операцию

$$\Delta t = t_{k1} - t_{k2}, \quad (1.3)$$

где  $t_{k1}$ ,  $t_{k2}$  – штучно-калькуляционные времена (нормы времени) на операцию соответственно до и после оснащения ее приспособлением.

Экономия на зарплате основных рабочих:

$$\Delta l = \frac{(t_{k1} \cdot l_1 - t_{k2} \cdot l_2)}{60}, \quad (1.4)$$

где  $l_1$  и  $l_2$  – часовые тарифные ставки на данной операции до и после оснащения ее приспособлением.

Экономия для одного приспособления при обработке одной детали

$$\varepsilon = (1 + 0,01 \cdot H) \Delta l, \quad (1.5)$$

где  $H = (50-300 \%)$  – процент косвенных накладных расходов от зарплаты основных рабочих.

Если в сравниваемых вариантах оснащения операции используется различное оборудование (например, при работе без П – агрегатный станок или координатно-расточной, а при работе с П – сверлильный), то должны быть учтены разные затраты на единицу времени (час) работы станков. При этом учет косвенных расходов, связанных с работой оборудования, производят с помощью машино-коэффициента  $i$ -го станка ( $K_{M_i}$ ). Машино-коэффициент  $i$ -го станка – это величина, показывающая во сколько раз затраты на его эксплуатацию отличаются от затрат на эксплуатацию за тот же период времени базового станка. Машино-коэффициент базового станка равен единице ( $K_{M_6} = 1$ ). Себестоимость машино-часа работы каждого станка ( $S_{Mч_i}$ ) получают умножением величины себестоимости машино-часа базового станка на машино-коэффициент  $i$ -го станка  $K_{M_i}$  :

$$S_{Mч_i} = S_{Mч_6} \cdot K_{M_i}, \quad (1.6)$$

где  $S_{Mч_6}$  – стоимость одного машино-часа базового станка.

Разницу затрат (экономии) на эксплуатации разных ( $S_{СТ1}$  и  $S_{СТ2}$ ) станков на операции определяют:



$$\Delta S = \frac{1}{60}(S_{\text{МЧ}_1} \cdot t_{k1} - S_{\text{МЧ}_1} \cdot t_{k2}) = \frac{1}{60} \cdot S_{\text{МЧ}_6} (K_{\text{М}_1} \cdot t_{k1} - K_{\text{М}_2} \cdot t_{k2}), \quad (1.7)$$

где  $K_{\text{М}_1}$  и  $K_{\text{М}_2}$  – машино-коэффициенты сравниваемых станков.

С учетом затрат на эксплуатацию разных станков экономия на одну детали-операцию:

$$\varepsilon = (1 + 0,01 \cdot H)\Delta l + \Delta S. \quad (1.8)$$

Общая годовая экономия ( $\varepsilon_r$ ) при изготовлении  $N$  деталей:

$$\varepsilon_r = \varepsilon \cdot N. \quad (1.9)$$

Суммарный годовой экономический эффект ( $\varepsilon_c$ ) будет равен разнице годовых экономии и затрат

$$\varepsilon_c = \varepsilon_r - \varepsilon_z, \quad (1.10)$$

где  $\varepsilon_z$  – годовые затраты на приспособление.

Определение экономического эффекта за год возможно рассчитать и по себестоимости сравниваемых операций. Технологическая себестоимость одной  $i$ -й операции определяется:

$$C_i = t_{ki} \cdot l_i (1 + 0,01 \cdot H) / 60 + t_{ki} \cdot S_{\text{СТ}i} + \varepsilon_i / N, \quad (1.11)$$

где  $\varepsilon_i = \{\varepsilon_{\text{НСП}}; \varepsilon_{\text{УБП}}; \varepsilon_{\text{УНП}}; \varepsilon_{\text{УСП}}; \varepsilon_{\text{СНП}}; \varepsilon_{\text{СРП}}\}$  – годовые затраты для  $i$ -й операции на приспособление (из любой стандартной системы).

Если сравниваемые операции оснащены разными приспособлениями (с годовыми затратами  $\varepsilon_1, \varepsilon_2$ ), имеют разную трудоемкость ( $t_{k1}, t_{k2}$ ), используют разное оборудование с эксплуатационными расходами ( $S_{\text{СТ}1}, S_{\text{СТ}2}$ ):

$$S_{\text{СТ}1} = \frac{S_{\text{МЧ}_1}}{60} = \frac{S_{\text{МЧ}_6}}{60} K_{\text{М}_1}, \quad S_{\text{СТ}2} = \frac{S_{\text{МЧ}_6}}{60} K_{\text{М}_2},$$

с разными квалификацией рабочих и тарифными ставками ( $l_1, l_2$ ), тогда себестоимость операций составит:

$$C_1 = t_{k1} \cdot l_1 (1 + 0,01 \cdot H) / 60 + t_{k1} \cdot S_{\text{СТ}1} + \varepsilon_1 / N;$$

$$C_2 = t_{k2} \cdot l_2 (1 + 0,01 \cdot H) / 60 + t_{k2} \cdot S_{\text{СТ}2} + \varepsilon_2 / N.$$

А годовой экономический эффект, определяемый себестоимостью операций, составит

$$\varepsilon_c = (C_1 - C_2)N. \quad (1.12)$$

## ГЛАВА 2. ОСНОВЫ БАЗИРОВАНИЯ

### 2.1. Термины и определения баз и базирования в машиностроении по ГОСТ 21495–76

Для определения положения любой точки в пространстве необходимо знать три ее координаты в системе координат (назовем ее начальной), представляющей это пространство. Известны три пространственные системы координат (рис. 2): прямоугольная, в которой задают три линейные координаты  $X_A$ ,  $Y_A$ ,  $Z_A$ ; цилиндрическая, в которой задают две линейные координаты  $Z_A$ ,  $\rho$  и одну угловую  $\varphi$ ; сферическая, в которой задают одну линейную координату  $r$  и две угловые  $\varphi$ ,  $\beta$ .

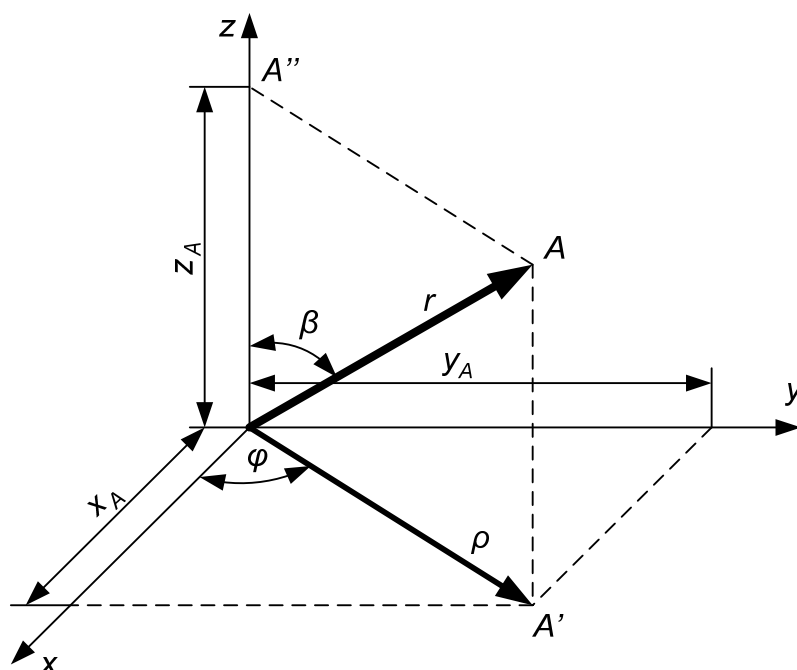


Рис. 2. Определение координат точки пространства:  
 $X_A$ ,  $Y_A$ ,  $Z_A$  – в прямоугольной системе;  $Z_A$ ,  $\rho$ ,  $\varphi$  – в цилиндрической;  
 $r$ ,  $\varphi$ ,  $\beta$  – в сферической системе координат

В машиностроении деталь или изделие изображают на чертежах некоторым множеством проекций на координатные плоскости локальных систем координат, как абсолютно жесткое тело (объект).

Расположение поверхностей (и их параметров точности) на детали или расположение детали в изделии, на рабочих или сборочных чертежах для удобства изображения и сокращения информации задают с использованием множества конструкторских (локальных) систем координат.

Локальные системы координат связаны размерами и углами поворота между собой и позволяют однозначно определить положение любого элемента рассматриваемого объекта в начальной системе координат и в любой другой системе координат, связанной с оснасткой или с другим изделием, если она имеет достаточное количество связей с используемыми системами координат. Это однозначное положение определяют при условии наличия для любой из локальных систем *шести координат*: трех, задающих положение начала координат (точки или базы отсчета), и трех угловых координат, задающих углы поворота осей или координатных плоскостей локальной системы относительно начальной системы координат.

Каждая координата лишает объект одной степени свободы.

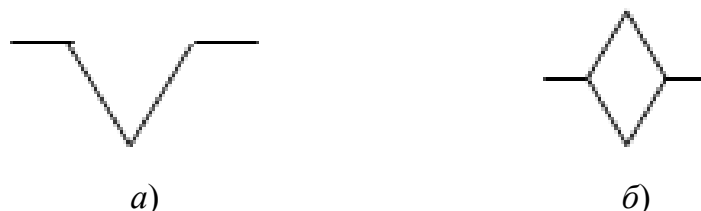


Рис. 3. Изображение опорной точки на теоретической схеме базирования: *а* – вид спереди, сбоку, сзади; *б* – вид сверху, снизу

Величины координат с требуемой точностью определяют положение опорных точек объекта или связей его с принятой системой координат. Необходимость наличия шести координат, задающих положение объекта, отражается в правиле шести точек: *для однозначного определения положения детали относительно установочных элементов оснастки или относительно других деталей (при сборке изделия) необходимо и достаточно иметь шесть опорных точек, обеспечивающих полное базирование*. Под опорной точкой (рис. 3) подразумевают идеальную точку контакта, лишаящую объект одной степени свободы, делая невозможным его перемещение или поворот в направлении, перпендикулярном к соответствующей координатной плоскости системы координат, выбранной в качестве начальной.

Конструкторские системы координат являются идеальными, в них нет погрешностей (кроме погрешностей округления, которые при расчетах с использованием вычислительной техники могут быть сколь угодно малы) и допусков на координатные связи между системами. В технологических системах координат при обработке, измерениях деталей и сборке изделий связи между системами проходят

по реальным поверхностям, имеющим погрешности в пределах допусков. Поэтому в технологических процессах переходы от одних систем координат к другим (от одной технологической к другой или от конструкторской к технологической) могут быть связаны с нарушением их положения или с погрешностями базирования.

1. *Базирование* – придание объекту требуемого положения относительно выбранной системы координат.

2. *База* – поверхность или сочетание поверхностей, ось или точка, принадлежащая объекту и используемая для базирования.

3. *Проектная база* – база, выбранная при проектировании изделия на чертеже для изготовления или ремонта этого изделия.

4. *Действительная база* – база, фактически используемая при изготовлении, измерении, эксплуатации или ремонте изделия.

5. *Комплект баз* – совокупность трех баз, образующих систему координат объекта.

6. *Опорная точка* – точка, расположенная на базе и символизирующая одну из связей объекта с избранной системой координат. Для обеспечения неподвижности заготовки или изделия в избранной системе координат на нее необходимо наложить шесть двухсторонних геометрических связей, изображаемых опорными точками на схеме базирования.

7. *Схема базирования* – схема расположения опорных точек на базах детали. Все опорные точки на схеме базирования изображают условными знаками (рис. 3) и нумеруют порядковыми номерами, начиная с определяющей базы комплекта (установочной или двойной направляющей), на которой располагают наибольшее количество опорных точек. При наложении в какой-либо проекции одной опорной точки на другую изображают одну точку, и около нее справа представляют номера совмещенных точек. Число проекций детали на схеме базирования должно быть достаточным для четкого представления о размещении опорных точек.

8. *Смена баз* – преднамеренная или случайная замена одних баз другими в конструкторских, технологических или измерительных системах координат.

9. *Погрешность базирования* – отклонение фактически достигнутого положения детали от требуемого при базировании.

10. *Закрепление* – приложение сил и пар сил к детали для обеспечения устойчивого положения, достигнутого при базировании.

11. *Погрешность закрепления* – отклонение фактически достигнутого положения детали при закреплении от требуемого.

12. *Установка* – процесс базирования и закрепления детали.

13. *Погрешность установки* – отклонение фактически достигнутого положения детали при установке от требуемого.

**По назначению различают базы:**

14. *Конструкторская база* – база, определяемая конструктором на чертеже, для указания положения поверхности, детали или сборочной единицы в изделии.

15. *Основная база* – конструкторская база, принадлежащая данной детали или сборочной единице и используемая для определения ее положения в изделии.

16. *Вспомогательная база* – конструкторская база, принадлежащая данной детали или сборочной единице и используемая для определения положения присоединяемого изделия.

17. *Технологическая база* – база, используемая технологом для определения положения поверхности, детали или сборочной единицы в изделии в процессе изготовления или ремонта.

18. *Измерительная база* – база, используемая при измерении для определения относительного положения поверхности, детали или изделия и средства измерения.

**По лишаемым степеням свободы различают базы:**

19. *Установочная база* – плоскость с тремя опорными точками, лишаящая деталь трех степеней свободы – перемещения вдоль одной координатной оси и поворотов вокруг двух других осей.

20. *Направляющая база* – база (отрезок прямой или оси с двумя опорными точками, лежащими в координатной плоскости), лишаящая деталь двух степеней свободы – перемещения вдоль одной координатной оси и поворота вокруг другой оси.

21. *Опорная (упорная) база* – база (точка в координатной плоскости), лишаящая деталь одной степени свободы – перемещения вдоль одной координатной оси или поворота вокруг оси.

22. *Двойная направляющая база* – база, лишаящая деталь четырех степеней свободы – двух перемещений вдоль двух координатных осей и двух поворотов вокруг этих осей (изображается четырьмя опорными точками, имеет вид отрезка оси, перпендикулярной к одной из координатных плоскостей или двух прямых отрезков, параллельных и расположенных в перпендикулярных координатных плоскостях).

23. *Двойная опорная база* – база, лишаящая деталь двух степеней свободы – двух перемещений вдоль двух координатных осей (изображается двумя опорными точками, расположенными в перпендикулярных плоскостях).

**По характеру проявления различают базы:**

24. *Явная база* – база детали в виде реальной поверхности (сочетания поверхностей), разметочной риски или точки пересечения рисок.

25. *Скрытая база* – база детали в виде воображаемой плоскости симметрии (пересечения плоскостей симметрии), оси, точки.

## **2.2. Комплекты баз и расположение опорных точек в них**

В локальных системах координат в зависимости от замысла конструктора при проектировании для поверхности (с присущими ей параметрами точности), детали, или для расположения детали в изделии применяют, в основном, три комплекта баз (рис. 4–6):

– первый для прямоугольной системы координат (рис. 4) с тремя базами: установочной (опорные точки (ОТ) 1, 2, 3), направляющей (ОТ 4, 5), опорной (упорной), препятствующей перемещению (ОТ 6);

– второй для цилиндрической системы координат (рис. 5) с тремя базами: установочной (ОТ 1, 2, 3), двойной опорной (ОТ 4, 5), опорной, препятствующей повороту (ОТ 6);

– третий для цилиндрической системы координат (рис. 6) с тремя базами: двойной направляющей (ОТ 1, 2, 3, 4), опорной, препятствующей перемещению (ОТ 5), опорной, препятствующей повороту (ОТ 6).

В некоторых схемах базирования можно выделить: три двойных опорных базы; двойную направляющую и двойную опорную; три направляющих базы. Возможен комплект баз с тройной опорной базой (шаровой шарнир) и тремя опорными, препятствующими поворотам. Как правило, эти комплекты баз содержат скрытые базы и могут быть сведены к упомянутым выше трем комплектам баз, охватывающим подавляющее большинство схем базирования, применяемых в машиностроении.

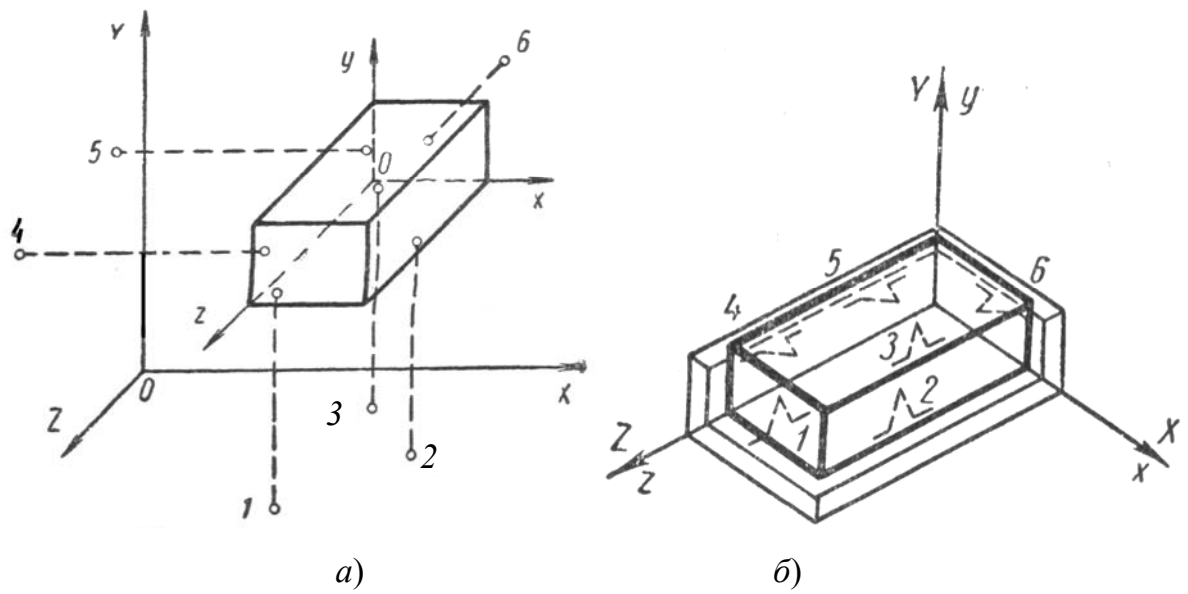


Рис. 4. Базирование в первом комплекте баз:  
*a* – определение положения; *б* – схема базирования

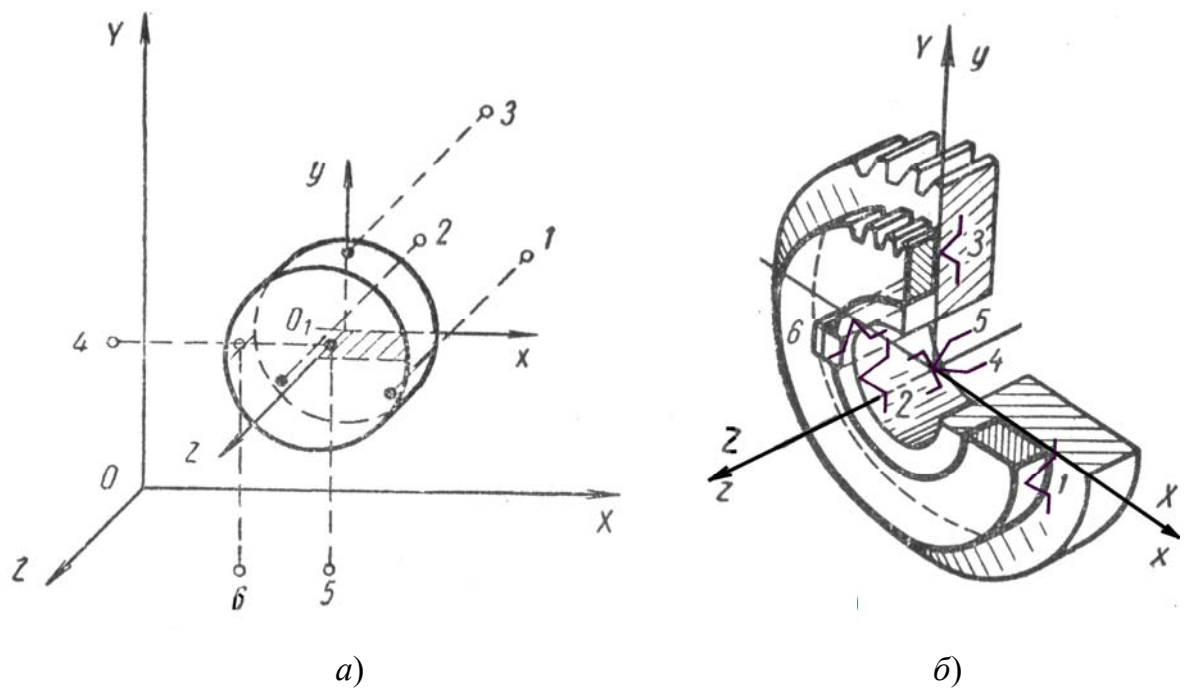


Рис. 5. Базирование во втором комплекте баз:  
*a* – определение положения; *б* – схема базирования

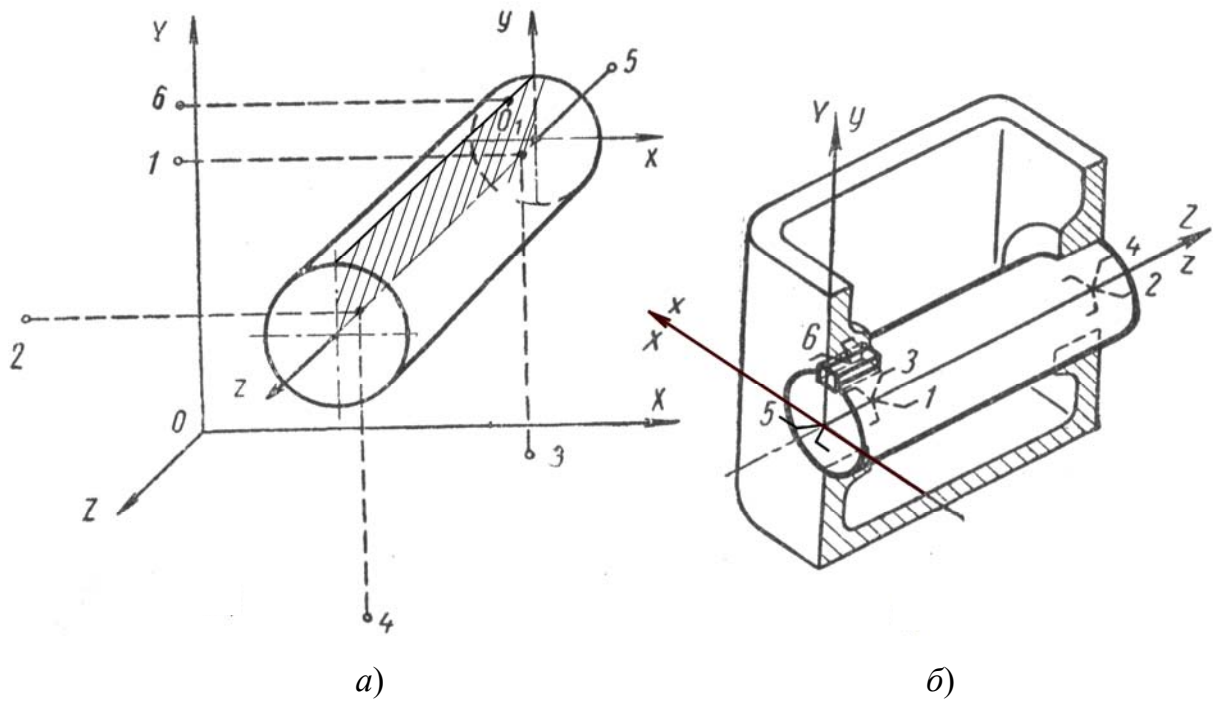


Рис. 6. Базирование в третьем комплекте баз:  
 а – определение положения; б – схема базирования

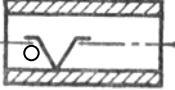
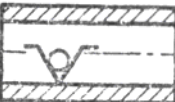
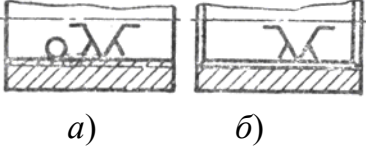
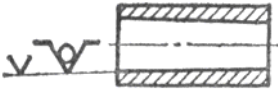




Таблица 2

**Графические обозначения элементов приспособлений  
 и их поверхностей по ГОСТ 3.1107–81 (СТ СЭВ 1803–79)**

Наименование	Условное обозначение		
	Вид сбоку	Вид в плане	
		сверху	снизу
Опора неподвижная Люнет неподвижный			
Опора подвижная Люнет подвижный			
Опора плавающая			
Опора регулируемая (зажим)			
Центр неподвижный (гладкий)		—	—



Наименование	Условное обозначение		
	Вид сбоку	Вид в плане	
		сверху	снизу
Центр вращающийся		—	—
Центр плавающий		—	—
Центр рифленый		—	—
Центр обратный вращающийся с рифленой поверхностью		—	—
Патроны двух-, трех- и четырехкулачковые с механическим зажимом		—	—
Патрон и оправка цанговые		—	—
Патрон и оправка с гидропластовым зажимом		—	—
Патрон с пневматическим зажимом		—	—
Патрон с гидравлическим зажимом		—	—
Патроны с магнитным и электромагнитным зажимом		—	—
Патрон с электрическим зажимом		—	—
Патрон поводковый		—	—

Наименование	Условное обозначение		
	Вид сбоку	Вид в плане	
		сверху	снизу
Оправка цилиндрическая гладкая		—	—
Оправка цилиндрическая шариковая (роликовая)		—	—
Оправка цилиндрическая резьбовая (а) и шлицевая (б)		—	—
Оправка коническая роликовая		—	—
Зажим одиночный (механический)			
Зажим сблокированный двойной (механический)			
Зажим пневматический с цилиндрической рифленой рабочей поверхностью		—	—

*Примечание.* Если технологу требуется предопределить форму рабочей поверхности опор или зажимов, тогда она обозначается символами: — — плоская;  $\frown$  — сферическая;  $\bigcirc$  — цилиндрическая (шариковая);  $\diamond$  — ромбическая;  $\sphericalangle$  — призматическая;  $\nabla$  — коническая;  $\nabla$  — трехгранная;  $\wedge$  — рифленая; проставляются слева от условных обозначений опор или зажимов.

### 2.3. Технологическое базирование

Конструкторские комплекты баз на чертежах выявляют при анализе параметров точности поверхностей деталей. Вне зависимости от того, явные базы или скрытые, предполагается что они геометрически идеально правильные, т. е. без погрешностей и отклонений размеров, формы и расположения. Поэтому точность положения в конструкторских системах координат не зависит от расположения опорных точек

на таких базах и от их протяженности. Здесь справедливы правила, что через две точки можно провести только одну прямую, а через три точки только одну плоскость, вне зависимости от расстояний между опорными точками.

Технологическое базирование связано с реальными контурами явных баз и материализованными скрытыми базами, которые, являясь вообразаемыми (идеальными), материализуются реальными механизмами технологической оснастки по реальным поверхностям деталей. Поэтому расположение технологических баз не может быть таким же правильным, как расположение баз в конструкторских схемах базирования. При совпадении изображений теоретических схем конструкторского и технологического базирования имеют место условности, которые нужно понимать технологу.

Прежде всего, при выборе технологических баз следует отдавать предпочтение более протяженным базам перед базами с меньшими размерами.

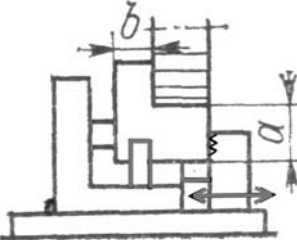
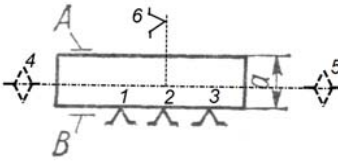
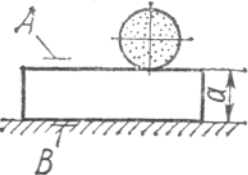
Для реальных баз следует учитывать, что при расположении на них более одной опорной точки точечные опоры должны быть расположены как можно дальше друг от друга. Это позволит точнее сориентировать заготовку в технологической системе координат, уменьшит погрешность установки и припуск на обработку. Чем дальше располагаются опоры друг от друга на установочной, двойной направляющей или направляющей базах, тем меньше возможные углы перекоса заготовки в пределах допусков реальных баз.

Использование центрирующих механизмов для выбора зазоров при контакте установочных элементов с реальными поверхностями (в виде подвижных симметричных конусов, клиньев, призм или разжимных оправок и патронов) для материализации скрытых баз позволяет совместить технологические и конструкторские скрытые базы. Примеры материализации скрытых баз показаны в табл. 3:

- опорной (см. ОТ 6 табл. 3, схемы № 2, 4, 6, 11);
- направляющей (см. ОТ 4, 5 табл. 3, схемы № 3, 4, 5, 6);
- двойной опорной (см. ОТ 4, 5 табл. 3, схемы № 8, 9, 11);
- двойной направляющей (см. ОТ 1–4 табл. 3, схемы № 15, 16, 17, 19, 20, 21, 23).

Для случаев использования центрирующих механизмов считают, что технологические скрытые базы совпадают с конструкторскими, и погрешности базирования для параметров точности, связанных с ними, принимают равными нулю.

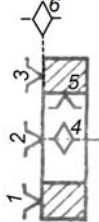
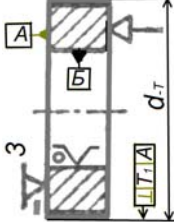
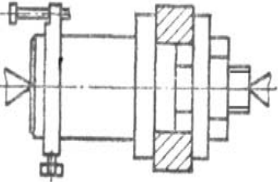
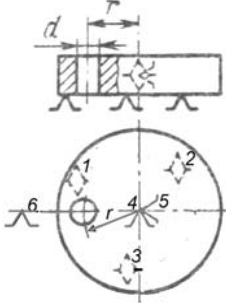
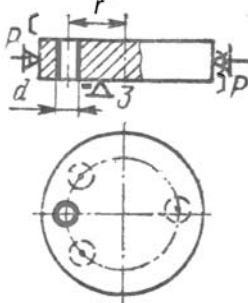
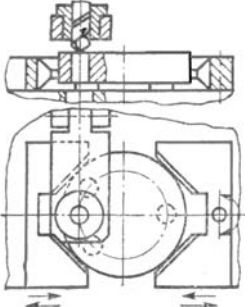
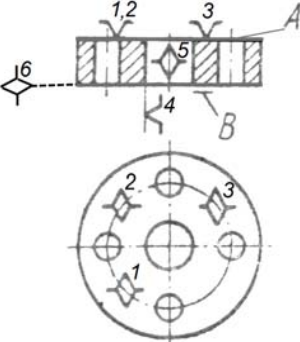
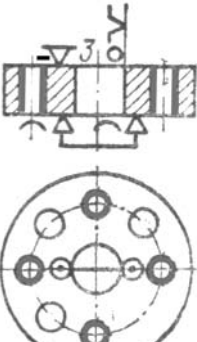
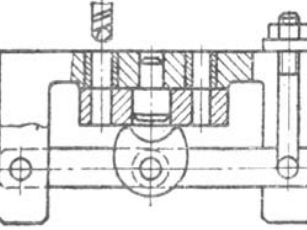
## Последовательность разработки схемы установки и конструкции станочного приспособления

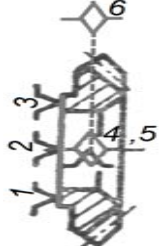
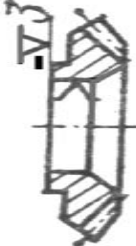
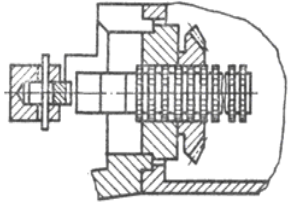
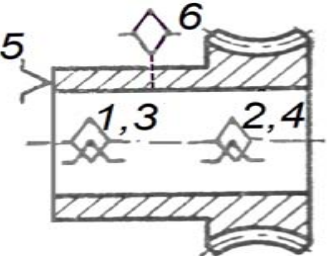
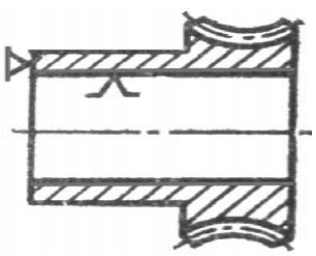
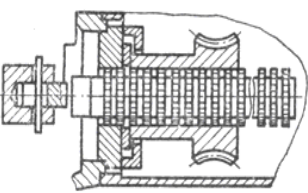
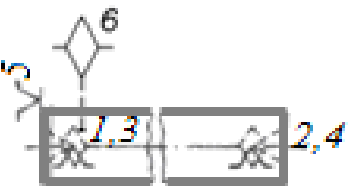

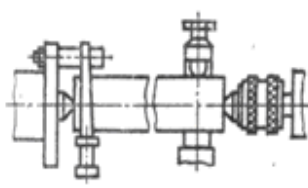
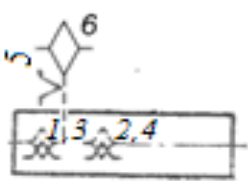
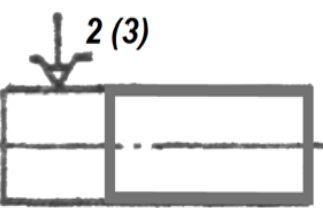
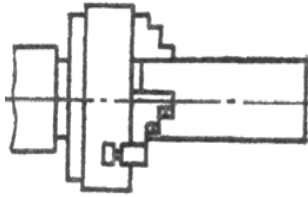
№ п/п схемы	Назначение операции, схемы установки и выдерживаемые параметры точности	Номер компл- екта баз	Теоретическая технологическая схема базирования	Изображение схемы установки на операционном эскизе	Пример возможной конструктивной реализации схемы установки
1	Фрезерование уступа с установкой на плоскости, закреплением рифленным прижимом, выдерживая размеры $a$ и $b$	1			
2	Установка корпуса для расточки отверстия $D$ на точечные опоры с выдерживанием: размера $a$ , параллельности его оси установочной плоскости основания и расположение в плоскости симметрии закругления внешнего контура (симметричность отверстия плоскости симметрии корпуса)	1			
3	Шлифование плоскостей $A$ и $B$ с переустановкой на магнитной плите, выдерживая размер $a$ и параллельность между ними	1			

№ п/п схемы	Назначение операции, схемы установки и выдерживаемые параметры точности	Номер компл- лекта баз	Теоретическая технологическая схема базирования	Изображение схемы установки на операционном эскизе	Пример возможной конструктивной реализации схемы установки
4	Установка рычага для расточки отверстий, выдерживая расположение их осей перпендикулярно торцам и симметричность относительно плоскостей симметрии головок	1			
5	Растачивание отверстий рычага, выдерживая перпендикулярность их осей торцам, симметричность относительно плоскости симметрии X-X и ось левого отверстия концентрично (с погрешностью базирования) наружному контуру головки A	1 (2)			
6	Установка рычага для расточки отверстий, без погрешностей базирования по концентричности левого отверстия наружному контуру головки A, по перпендикулярности отверстий торцам и симметричности их относительно плоскости симметрии головок X-X	1 (2)			

№ п/п схемы	Назначение операции, схемы установки и выдерживаемые параметры точности	Номер ком- плекта баз	Теоретическая технологическая схема базирования	Изображение схемы установки на операционном эскизе	Пример возможной конструктивной реализации схемы установки
7	Установка шатуна на плоскости торцов и по двум отверстиям для обработки наружного контура	2 (1)			
8	Обработка ступицы в трех- (двух) кулачковом патроне, выдерживая размеры <i>a</i> и <i>b</i> , параллельность торцов, перпендикулярность цилиндрического уступа базовому торцу и concentricity выступа	2			
9	Установка короткой втулки (диска) на разжимной цанговой оправке ( <i>a</i> ) или в трех кулачковом патроне ( <i>б</i> ), для выдерживания при обработке перпендикулярности наружной поверхности торцу и concentricity ее отверстию	2			

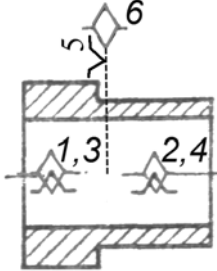
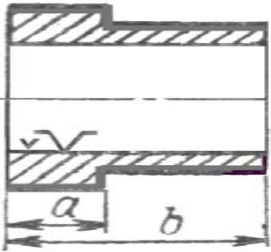
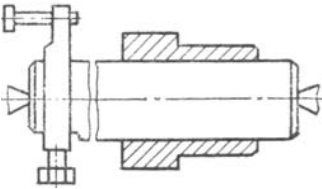
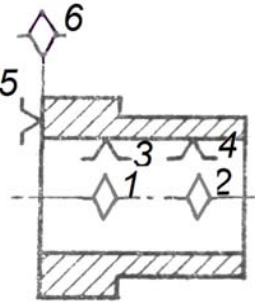
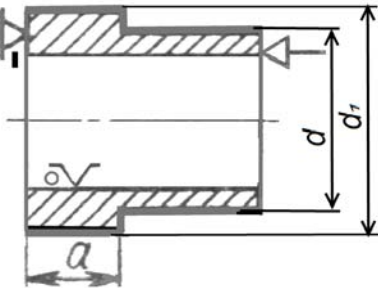
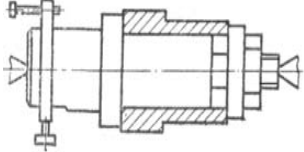
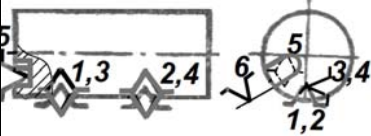
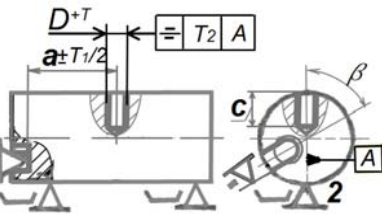
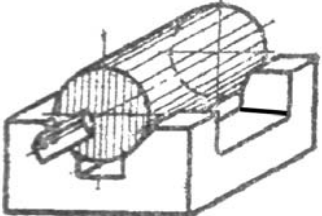


№ п/п схемы	Назначение операции, схемы установки и выдерживаемые параметры точности	Номер ком- плекта баз	Теоретическая технологическая схема базирования	Изображение схемы установки на операционном эскизе	Пример возможной конструктивной реализации схемы установки
10	Установка короткой втулки-диска на цилиндрической оправке с зазором, обрабатываемый наружный диаметр перпендикулярен торцу и не соосен отверстию	2			
11	Сверление в диске отверстия $d$ , выдерживая перпендикулярность его оси базовому торцу, расстояние от центра наружной поверхности $r$ , с установкой на три точечные опоры в самоцентрирующие призматические губки (одна из которых плавающая) с пневматическим зажимом	2			
12	Сверление по кондуктору в диске четырех отверстий, выдерживая расположение и перпендикулярность их осей базовому торцу $A$ , с установкой на плоскость и палец (цилиндрический), с креплением вверх сдвоенным ручным прижимом со сферическими рабочими поверхностями	2			

№ п/п схемы	Назначение операции, схемы установки и выдерживаемые параметры точности	Номер ком- плекта баз	Теоретическая технологическая схема базирования	Изображение схемы установки на операционном эскизе	Пример возможной конструктивной реализации схемы установки
13	Протягивание короткого отверстия	2			
14	Протягивание длинного отверстия	3			
15	Установка вала в центрах (неподвижном переднем, вращающемся заднем, с по- водковым патроном и под- вижным люнетом)	3			
16	Установка вала в двух- или трехкулачковом патроне са- моцентрирующемся с длинны- ми кулачками без упора по торцу	3			



№ п/п схемы	Назначение операции, схемы установки и выдерживаемые параметры точности	Номер ком- плекта баз	Теоретическая технологическая схема базирования	Изображение схемы установки на операционном эскизе	Пример возможной конструктивной реализации схемы установки
17	Установка вала с упором в торец в патроне самоцентрирующемся и вращающемся центре с дополнительной опорой в неподвижном люнете	3			
18	Бесцентровое шлифование гладкого валика	3			
19	Обработка втулки, установленной длинным отверстием на разжимную цанговую оправку, с упором в торец, обеспечивая соосность (концентричность) поверхностей вращения базовому отверстию	3			
20	Обработка втулки, установленной длинным отверстием на разжимную гидропластовую оправку, с упором торцом на опору рифленую и с поджимом вращающимся центром, обеспечивая соосность поверхностей базовому отверстию	3			

№ п/п схемы	Назначение операции, схемы установки и выдерживаемые параметры точности	Номер ком- плекта баз	Теоретическая технологическая схема базирования	Изображение схемы установки на операционном эскизе	Пример возможной конструктивной реализации схемы установки
21	Обработка втулки на конусной оправке с обеспечением не строгой concentricity наружных поверхностей вращения и перпендикулярность торца $a$ базовому отверстию	3			
22	Обработка втулки, допуская погрешности по эксцентриситету $d, d_1$ и перпендикулярности торца у размера $a$ относительно оси длинного отверстия, при установке с зазором на цилиндрическую оправку и закреплении вручную	3			
23	Установка вала на призме по цилиндрической поверхности, по дну и боковой поверхности паза для сверления отверстия в плоскости симметрии вала и с размером $a$ (без погрешностей базирования), а для $c$ и $\beta$ (с соответствующими погрешностями базирования).	3			

Если для поверхностей со скрытыми конструкторскими базами, при технологическом базировании не применяют механизмы материализации, а используются явные базы, положение которых связано с заменяемыми скрытыми базами, то произошедшая замена баз вызывает погрешности базирования для параметров точности, заданных от скрытых баз. В результате при механической обработке на операции должны быть произведены мероприятия по обеспечению параметров точности с учетом возникающих погрешностей базирования. Чаще всего переходят к выдерживанию других параметров точности с допустимыми значениями, величины которых должны быть рассчитаны по размерным технологическим цепям, в которых исходными (замыкающими) звеньями будут параметры точности, первоначально заданные от скрытых баз.

Погрешности базирования зависят от фактического расположения и отклонений технологических баз от конструкторских. В расчетах погрешности базирования принимают максимальными из возможных отклонений фактически достигнутого положения реальной поверхности от требуемого, для геометрически правильной поверхности, предусмотренной при конструировании.

Например, погрешности базирования, равные максимальным зазорам между установочными оправками (пальцами) и отверстиями, возникнут из-за смены баз:

– двойная опорная база (ОТ 4, 5) в схемах базирования № 7, 10, 12 (см. табл. 3) перемещается на реальную поверхность отверстия со скрытой базы – оси отверстия;

– двойная направляющая база (ОТ 1, 2, 3, 4) в схеме базирования № 22 перемещается на реальную поверхность отверстия со скрытой базы – оси отверстия.

В схеме № 23 двойная направляющая база материализуется призмой в плоскости симметрии призмы, но не по оси валика, а ниже горизонтальной плоскости симметрии валика. Поэтому погрешности базирования для параметров точности, заданных от вертикальной плоскости симметрии, условно принимают равными нулю, а для остальных параметров точности погрешности базирования зависят от допусков реальных баз (цилиндрической поверхности и паза), угла призмы и углов между вертикальной плоскостью симметрии и направлениями выдерживаемых при обработке параметров точности.

Использование двух скрытых баз в первом комплекте баз (направляющей и опорной), и во втором комплекте (двойной опорной и опорной), располагающихся в плоскостях симметрии и на пересечениях (осях) перпендикулярных плоскостей симметрии, приводит к одинаковому расположению опорных точек в схемах базирования № 5 и 6 (см. табл. 3). Различие будет наблюдаться только в номерах опорных точек, так как они должны проставляться последовательно, начиная с опорных точек баз, имеющих их наибольшее количество. Поскольку определяющей базой первого и второго комплектов баз является установочная база (ОТ 1–3), то ОТ 4, 5 для первого комплекта будут располагаться на направляющей базе, а во втором комплекте баз на двойной опорной (опорные точки указаны в скобках).

## 2.4. Выбор технологических баз

Целью выбора технологических баз является выдерживание всех параметров точности (ПТ) обрабатываемых поверхностей в допустимых пределах (табл. 4). От него зависит правильность принятой схемы установки, конструкция приспособления, производительность обработки. Исходными данными для выбора технологических баз для оснащаемой операции механической обработки (см. табл. 3) являются: вид поступающей заготовки, требования операционного эскиза и рабочего чертежа детали, вид обработки, инструмент, станок, режимы резания. Для сборочной операции важны чертежи рабочий и сборочный и технические условия работы детали в изделии.

При выборе технологических баз необходимо:

1) по возможности совмещать их с конструкторскими базами, так как если они не совмещены, возникают погрешности базирования и необходимость ужесточения допусков предыдущих обработок;

2) соблюдать принцип постоянства баз на оснащаемой операции и на всех операциях обработки для последующих уточнений этих обрабатываемых поверхностей. Для этого часто создают технологические базы, не имеющие конструктивного назначения (например, центровые гнезда валов, базовые отверстия, перпендикулярные установочной плоскости и т. п.);

3) обеспечивать хорошую устойчивость заготовки на опорах, что требует достаточной протяженности и жесткости баз.

## Выбор технологических баз

Решаемые задачи	Рекомендации по выбору
<i>Первая операция техпроцесса</i>	
1. Выдерживание всех ПТ операционного эскиза. 2. Получение возможно меньших и равномерных припусков на обработку. 3. Обеспечение правильного взаимного расположения обрабатываемых и не обрабатываемых поверхностей. 4. Подготовка технологических баз для последующих операций механической обработки	1. Определяющая технологическая база должна быть жесткой, иметь достаточные размеры, наилучшую точность и параметры шероховатости, не должна содержать швы, следы литниковой системы или заусенца, должна быть связана размерами с будущими обрабатываемыми поверхностями. 2. Не следует использовать технологические базы первой операции при выполнении последующих операций механической обработки
<i>Промежуточная операция</i>	
1. Выдерживание всех ПТ операционного эскиза. 2. Подготовка технологических баз для завершающей операции механической обработки	1. Технологические базы должны быть связаны с обрабатываемыми поверхностями кратчайшими размерными цепями. 2. При смене технологических баз следует использовать более точные поверхности
<i>Завершающая операция</i>	
1. Выполнение требований чертежа детали для обрабатываемых на операции поверхностей. 2. Уменьшение погрешностей установки для всех выдерживаемых параметров точности	1. Определение схемы установки с минимальными погрешностями для выдерживаемых ПТ, соответствующих ПТ чертежа детали. 2. В качестве технологических баз следует принимать элементы и поверхности поступающей заготовки, относительно которых наиболее строго заданы все или большинство выдерживаемых ПТ

Порядок назначения технологических баз и основных опор при полном базировании:

1) определяют конструкторские системы координат для всех параметров точности операционного эскиза;

2) определяют наиболее подходящую для всех или большинства параметров точности технологическую систему координат и назначают соответствующий ей комплект баз;

3) составляют схемы базирования и установки. В схеме установки выдерживаемые параметры точности должны иметь погрешности базирования и закрепления равные нулю или приемлемые значения;

3.1) из комплекта баз выбирают определяющую базу установочную или двойную направляющую, т. е. лишаящую заготовку наибольшего числа степеней свободы и располагают на ней опорные точки, а затем назначают число, вид и места расположения опор;

3.2) определяют, каких степеней свободы будет лишена заготовка с помощью второй базы комплекта, выбирают число, вид и места расположения опор для второй базы (эти опоры не должны дублировать назначение опор, выбранных ранее);

3.3) назначают вид и место расположения опоры для третьей базы комплекта (опора для этой базы не должна дублировать назначение опор, выбранных ранее).

Основные опоры, обеспечивающие полное базирование, бывают постоянными, регулируемыми и самоустанавливающимися (рис. 8). Для повышения жесткости и виброустойчивости технологической системы СПИД применяют вспомогательные опоры, подводимые под заготовку после ее базирования и закрепления на основных опорах. Вспомогательные опоры бывают регулируемыми и самоустанавливающимися. Суммарное число основных опор должно быть не меньше числа тех степеней свободы, которое отнимают у заготовки. Чем меньше опор, тем проще приспособление.

## **ГЛАВА 3. СХЕМЫ УСТАНОВКИ**

### **3.1. Структура погрешности установки заготовки**

Погрешность установки  $\varepsilon$ , как одна из составляющих общей погрешности (поля рассеяния погрешностей  $\Delta_{\Sigma}$ ) выполняемого параметра точности при обработке на предварительно настроенном станке, суммируется из погрешностей: базирования  $\varepsilon_6$ , закрепления  $\varepsilon_3$ , и погрешности положения заготовки, вызываемой неточностью изготовления приспособления  $\varepsilon_{пр}$ . По своему физическому смыслу величина погрешности установки  $\varepsilon$  выражает погрешность положения заготовки при обработке.

Как сумма случайных величин погрешность установки заготовки для выполняемого параметра точности на операции или переходе определяется векторной суммой:

$$\bar{\varepsilon} = \bar{\varepsilon}_6 + \bar{\varepsilon}_3 + \bar{\varepsilon}_{\text{пр}} \quad \text{или} \quad \varepsilon = \sqrt{\varepsilon_6^2 + \varepsilon_3^2 + \varepsilon_{\text{пр}}^2}, \quad (3.1)$$

где  $\varepsilon_6$  – погрешность базирования, мкм;  $\varepsilon_3$  – погрешность закрепления, мкм;  $\varepsilon_{\text{пр}}$  – погрешность положения заготовки в приспособлении, мкм.

Величина  $\varepsilon_A$  относится к выполняемому ПТ (например, к размеру  $A$  (рис. 7, а)) при данной установке и поэтому она (и ее составляющие  $\varepsilon_{6A}$ ,  $\varepsilon_{3A}$ ,  $\varepsilon_{\text{пр}A}$ ) должна иметь индекс этого ПТ.

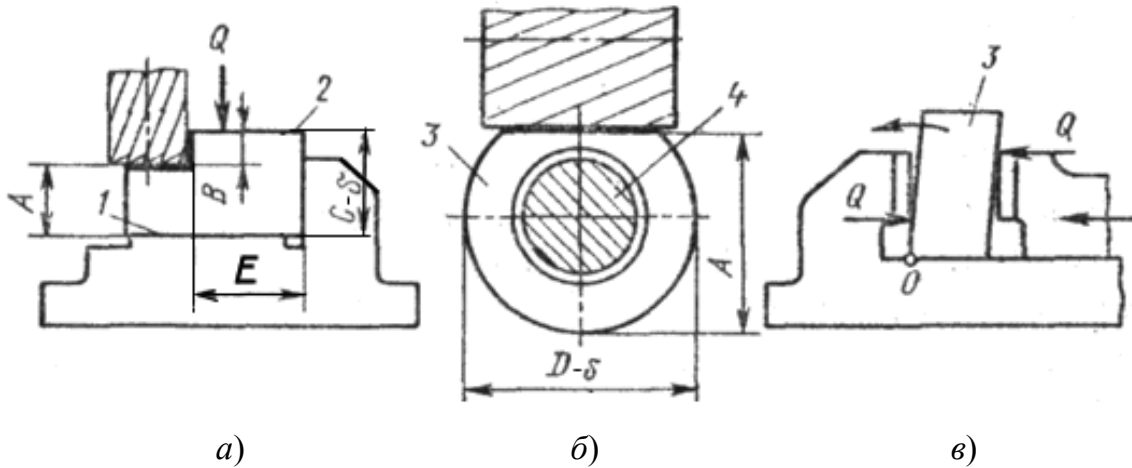


Рис. 7. Схемы образования погрешностей базирования и закрепления

Погрешность базирования представляет собой отклонение фактически достигнутого положения поверхности заготовки или изделия при базировании от требуемого. Она возникает, когда при базировании заготовки не совмещается технологическая база с конструкторской для выполняемого параметра точности. При их совмещении  $\varepsilon_6 = 0$  (рис. 7, а)  $\varepsilon_{6A} = 0$ , так как плоскость 1 является для размера  $A$  технологической и конструкторской базой.

Величина погрешности базирования  $\varepsilon_6$  зависит от принятой схемы базирования, точности размеров, формы и взаимного расположения базовых поверхностей поступающей заготовки. Величину максимальной погрешности базирования  $\varepsilon_{6\text{max}}$  можно определить как расстояние между предельными положениями проекций измерительной базы на направление выполняемого параметра точности.

При обработке партии заготовок, имеющих отклонения (погрешности) размеров (или формы), их технологические и измерительные базы при установке в приспособлении могут занимать различные положения в пространстве. Поэтому в общем случае  $\varepsilon_6$  следует рассчитывать

с учетом пространственной схемы расположения баз заготовки. Но это усложняет расчеты, поэтому при расчете  $\varepsilon_{\delta}$  наиболее часто принимают упрощенную схему, рассматривая смещение измерительных баз заготовки только в одной плоскости (плоская схема расчета).

При расчете  $\varepsilon_{\delta}$  для деталей, обрабатываемых на настроенных станках (в серийном и массовом производстве), можно принимать часть значения от  $\varepsilon_{\delta_{\max}}$ . Потому что обычно расчет точности выполняют по наибольшему и наименьшему предельным размерам заготовки (с учетом всего поля допуска), а вероятность появления таких размеров при обработке на настроенных станках мала. Учитывая, что закон распределения размеров обрабатываемых заготовок близок к нормальному, для расчета величины  $\varepsilon_{\delta}$  можно брать поправочный коэффициент  $k = 0,8-0,85$ . Тогда

$$\varepsilon_{\delta} = k \varepsilon_{\delta_{\max}}. \quad (3.2)$$

Значение  $\varepsilon_{\delta_{\max}}$  можно определить геометрическим расчетом как разницу предельных положений измерительной базы или путем расчета соответствующей технологической размерной цепи. Для ряда схем установок заготовок при обработке формулы для определения  $\varepsilon_{\delta_{\max}}$  могут быть взяты из справочников.

Погрешность закрепления  $\varepsilon_3$ , вызываемая тем, что под действием сил зажима заготовка может изменить то положение, которое она заняла в приспособлении при базировании. При этом ее технологические и измерительные базы смещаются на некоторую величину. Погрешность закрепления равна разности наибольшей и наименьшей проекций (смещений) измерительной базы на направление выполняемого параметра точности при приложении к заготовке силы закрепления:

$$\varepsilon_3 = (y_{\max} - y_{\min}) \cos \alpha, \quad (3.3)$$

где  $\alpha$  – угол между направлением выполняемого параметра и направлением смещения измерительной базы (усилия закрепления);  $y_{\max}$ ,  $y_{\min}$  – наибольшее и наименьшее смещения измерительной базы, мкм.

Для размеров  $A$  и  $B$  на рис. 7, а  $\varepsilon_{3A}$ ,  $\varepsilon_{3B}$  не равны нулю, так как ( $\alpha = 0$ ,  $\cos \alpha = 1$ ), а для размера  $E$   $\varepsilon_{3E} = 0$ , так как ( $\alpha = 90^\circ$ ,  $\cos \alpha = 0$ ) и боковые базы, измерительная и технологическая, совпадающая с конструкторской, не перемещаются в горизонтальной плоскости.

Смещения баз заготовки происходят в результате деформации звеньев цепи, через которую передаются силы закрепления (заготовка –



установочные элементы – корпус приспособления – стол станка). Из всех перемещений в этой цепи наибольшую величину имеют перемещения в стыке «заготовка – установочные элементы». Зависимость контактных деформаций для стыков «заготовка – опоры приспособления» выражается нелинейным законом

$$y = C \cdot Q^n, \quad (3.4)$$

где  $C$  – коэффициент, определяющий условия контакта, материал, твердость, шероховатость баз заготовки;  $Q$  – сила, действующая на опору, или давление;  $n$  – показатель степени ( $n = 0,6–0,8$ ).

Значения  $C$  и  $n$  определяются опытным путем. В справочниках приведены экспериментальные зависимости, выражающие связь между нормальной силой и смещением  $y$  заготовки при установке ее на опоры различного вида, а также значения необходимых для расчета коэффициентов (см. формулы (3.6), (3.8)). Пользуясь этими зависимостями, можно рассчитать погрешность закрепления по формуле (3.3).

Упругие деформации системы «заготовка – установочные элементы» от действия силы закрепления рассчитываются:

$$\Delta y = (Q_{\max} - Q_{\min})/j, \quad (3.5)$$

где  $j$  – жесткость системы.

Для жестких деталей ввиду незначительной их величины упругие деформации можно не учитывать.

При выполнении предварительных расчетов или для грубых методов обработки значения  $\varepsilon_3$  принимают по справочным таблицам, например [7, табл. 4.10–4.13].

При обработке партии заготовок на настроенных станках постоянную величину  $\varepsilon_3$  можно учесть при настройке станка, особенно когда применяют зажимные устройства, обеспечивающие постоянство усилий зажима. Поэтому иногда  $\varepsilon_3$  можно не учитывать.

### 3.2. Установка на плоскость

Применяется при обработке корпусов, рам, плит, пластин на фрезерных, сверлильных, расточных станках (см. табл. 3, схемы № 1, 2). В качестве установочных элементов используют базирующие плоскости приспособлений, точечные опоры, опорные пластины и шайбы (рис. 8, а), регулируемые (подводимые) опоры (рис. 8, б) и самоустанавливающиеся опоры (рис. 8, в).

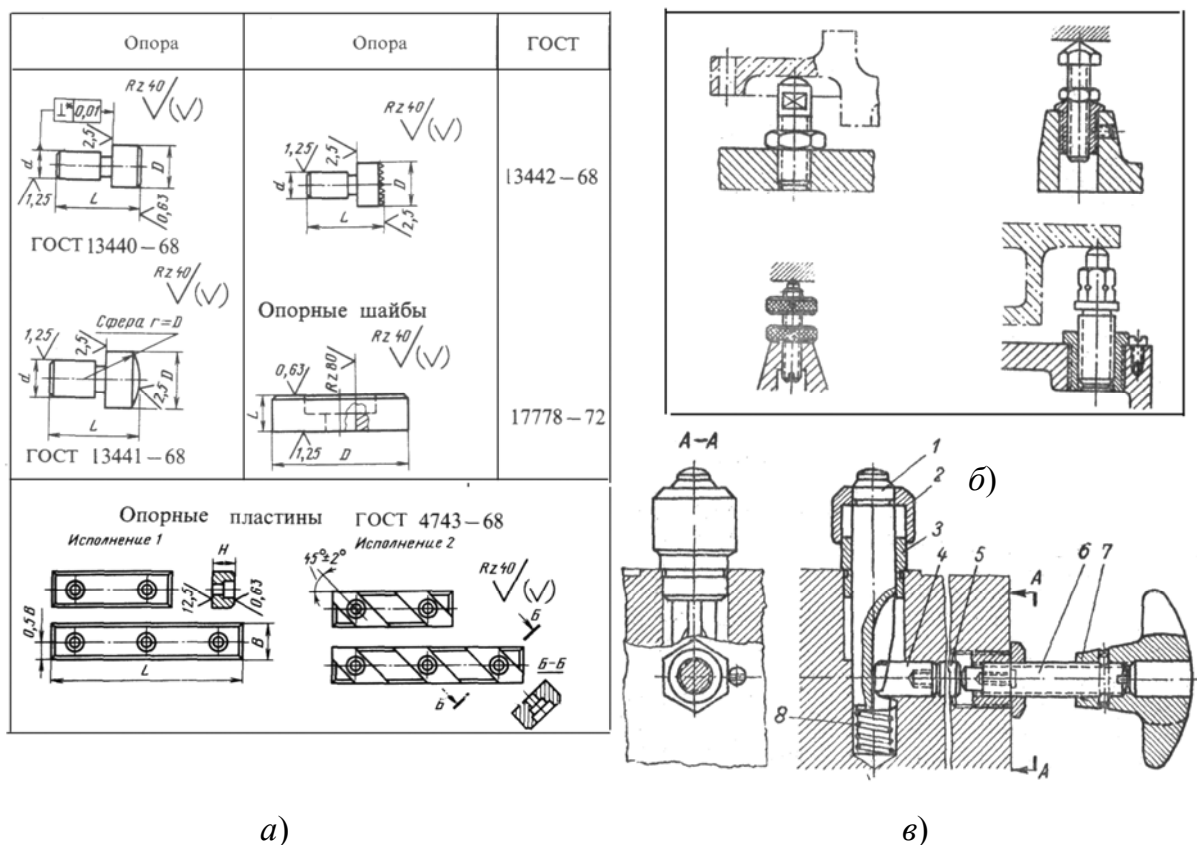


Рис. 8. Типовые установочные элементы для установки по плоскости

При установке заготовок необработанными базовыми поверхностями используют точечные опоры с головками рифленой (ГОСТ 13442-68), сферической (круглой) (ГОСТ 13441-68). При установке обработанной поверхностью применяют опоры с плоской головкой (ГОСТ 13440-68), опорные шайбы (ГОСТ 17778-72) и опорные пластины (ГОСТ 4743-68).

Регулируемые опоры применяют для установки заготовок с необработанными базами при больших припусках или когда заготовки при установке выверяют по разметочным рискам. В качестве таких опор используют винты со сферической опорной поверхностью и головками различной формы (ГОСТ 4084, 4086, 4740).

Предельные нагрузки на сферические опоры 2-30 КН при обработке стальных заготовок и на 30-40 % меньше при обработке заготовок из цветных металлов и сплавов. Допустимая нагрузка на опору с рифленой головкой в 2 раза больше, чем с круглой головкой. Предельное давление на опоры с плоской головкой и на опорные пластины и шайбы 40 МПа.

Опорные пластины исполнения 1 (без пазов) служат боковыми и верхними опорами, а исполнения 2 (с пазами) нижними. Опоры с рифленой головкой, как правило, являются боковыми опорами. Для уменьшения погрешности приспособления опоры с плоской головкой, опорные шайбы и пластины дополнительно обрабатываются «по месту» на оснащаемом станке. Сопряжения точечных опор с круглой, плоской и рифленой головками с корпусом приспособления выполняются по посадкам Н7/г6 или Н7/п6. Применяют установку этих опор с посадкой Н7/г6 в корпусе приспособления через переходные втулки.

При закреплении заготовки силой, направленной на опоры, в стыках «корпус приспособления – опоры – заготовка» происходят деформации (осадка), и заготовка смещается в направлении усилия закрепления. Формула для определения смещений ( $y$ ) для постоянных точечных опор, пластин и шайб имеет вид

$$y = [(K_{Rz} \cdot R_z + K_{НВ} \cdot НВ) + C_1] \frac{Q^n}{F^m}, \quad (3.6)$$

где НВ – твердость материала по Бриннелю;  $Q$  – сила, действующая по нормали к опоре, кгс;  $F$  – площадь контакта опоры с заготовкой, см<sup>2</sup>;  $R_z$  – высота неровностей профиля поверхности заготовки, мкм.

Таблица 5

**Значения коэффициентов и показателей степени для формулы (3.6)**

Тип опоры	Материал	Значения коэффициентов и показателей				
		$K_{Rz}$	$K_{НВ}$	$C_1$	$n$	$m$
Опоры со сферической головкой ГОСТ 13441–68	Сталь	0	–0,003	$0,67 + 6,23/R$	0,8	0
	Чугун	0	–0,008	$2,7 + 9,23/R$	0,6	0
Опоры с рифленой головкой ГОСТ 13442–68	Сталь	0	–0,004	$0,38 + 0,0034D$	0,6	0
	Чугун	0	–0,0008	$1,76 - 0,03D$	0,6	0
Опоры с плоской головкой ГОСТ 13440–68 Пластины опорные ГОСТ 4743–68	Сталь	0,004	–0,0016	$0,4 + 0,012F$	0,7	0,7
	Чугун	0,016	–0,0045	$0,776 + 0,053F$	0,6	0,6

*Примечание.*  $R$  – радиус сферы головки опоры по ГОСТ 13441–68, см;  $D$  – диаметр головки опоры по ГОСТ 13442–68, мм.

При внецентренном приложении силы закрепления происходит неравномерная осадка заготовки и базовая плоскость располагается под некоторым углом  $\beta$  к ее исходному положению (рис. 9).

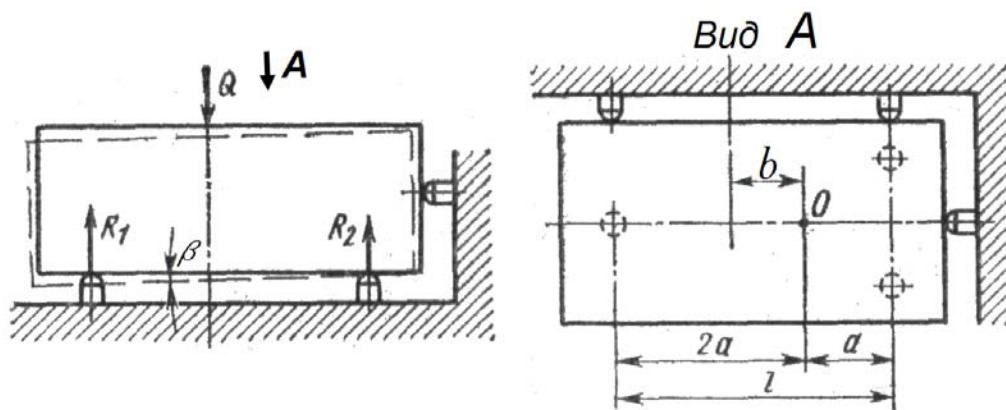


Рис. 9. Осадка заготовки на опорах при закреплении

Зная смещение  $b$  точки приложения силы от центра тяжести  $O$  опорного треугольника, можно вычислить опорные реакции  $R_1$  и  $R_2$  и соответствующие им величины осадки заготовки ( $y_1$ ,  $y_2$ ), используя зависимость (3.6). При этом угол наклона заготовки

$$\beta = \arctg(y_1 - y_2)/l.$$

С увеличением  $b' = b/l$  увеличиваются значения  $\beta$ , и при больших значениях  $b'$  противоположный конец заготовки может подняться, образуя зазор между базовой плоскостью и поверхностью опоры. При  $b' = 3/8$  зазор и величина стыковой деформации равны и симметричны относительно средней плоскости заготовки. Для устранения зазора величина  $b'$  не должна превышать  $1/4$ . Возникновение зазора снижает жесткость установки и ухудшает условия закрепления заготовки.

Если по условиям обработки для закрепления заготовки недостаточно одной силы  $Q$ , приложенной по центру, то закрепление производят одновременным приложением двух сил  $Q_1$ , равнодействующая которых должна совпадать с силой  $Q$ .

Так как при обработке на настроенных станках настройка производится по направляющим элементам (установкам или эталонным деталям со щупами), которые связаны точными размерами с технологическими базами, то все параметры точности, заданные на операционном эскизе от них, будут выдерживаться без погрешностей базирования. А все параметры точности, заданные на эскизе от противоположных технологическим базам поверхностей заготовки, будут иметь погрешности базирования, равные наибольшим отклонениям между технологическими и конструкторскими базами, из-за такого «неудачного» для

них расположения в технологической системе координат. Например, для эскиза на рис. 10, а:  $\varepsilon_{\delta A} = 0$ ;  $\varepsilon_{\delta K} = 0$ ;  $\varepsilon_{\delta B} = T_H$ ;  $\varepsilon_{\delta D} = T_L$ .

На погрешности базирования оказывают влияние и погрешности расположения и формы реальных поверхностей (рис. 10, б)  $\varepsilon_{\delta C} = 0$ ;  $\varepsilon_{\delta B} = H \operatorname{tg} 2\omega$ ;  $\varepsilon_{\delta \alpha} = 2\omega$ ;  $\varepsilon_{\delta T_1} = 0$ ;  $\varepsilon_{\delta T_2} = 0$ ;  $\varepsilon_{\delta T_3} = \varepsilon_{\delta T_4} = H \operatorname{tg} 2\omega$ .

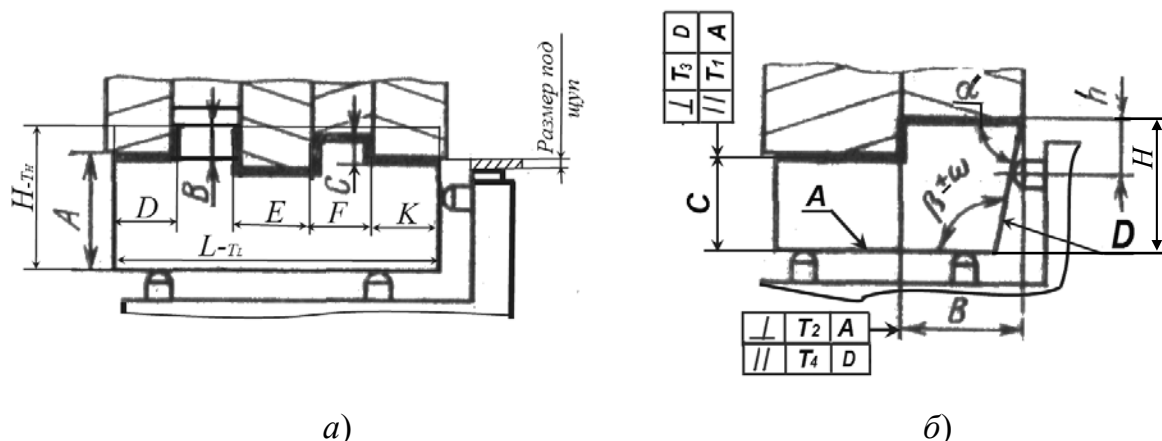


Рис. 10. Образование погрешностей базирования:  
а – для линейных размеров; б – для размеров линейных, угловых и допусков расположения

При обработке методом пробных проходов вся обработка может проходить от технологических баз, совпадающих с конструкторскими (при настройке от конструкторских баз по отсчетным устройствам станков), в этом случае погрешности базирования для размеров будут равны нулю, а для допусков расположения будут зависеть от расположения баз поступающей заготовки. Погрешности базирования для параметров, полученных при совместной обработке в одну установку будут равны нулю  $\varepsilon_{\delta C} = 0$ ;  $\varepsilon_{\delta F} = 0$ ;  $\varepsilon_{\delta E} = 0$  (см. рис. 10, а).

### 3.3. Установка заготовок в призмы

В призмы устанавливают заготовки и детали типа тел вращения (валы, диски, втулки) при обработке на фрезерных сверлильных, шлифовальных и других станках (см. табл. 3, схемы № 2, 4, 5, 6, 11, 23). Длинные заготовки устанавливают по двум сечениям в не стандартизованных призмах с разобщенными участками (рис. 11, б). Для установки заготовок с необработанными поверхностями призмы делают узкими (ГОСТ 12193...12197–66; 16897–71) (рис. 12).

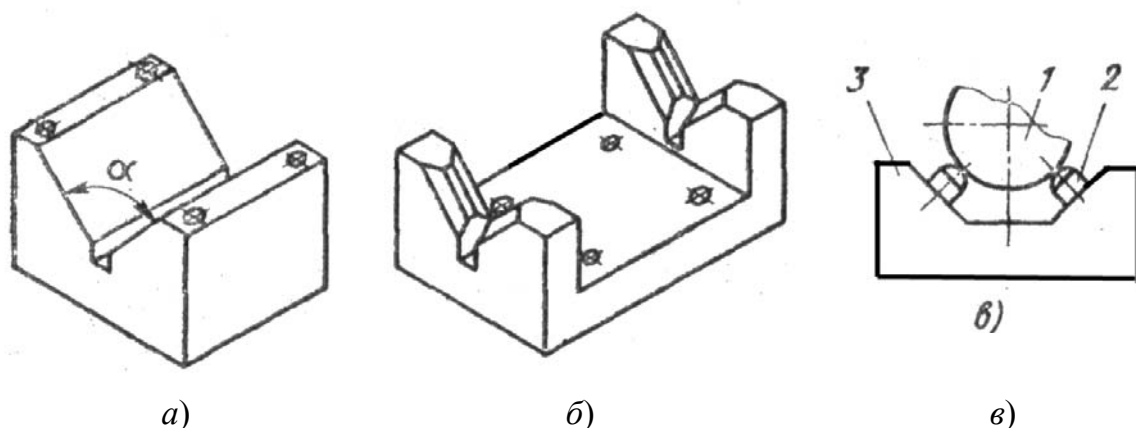


Рис. 11. Виды применяемых призм

Призмы изготавливают из стали 20Х с цементацией на глубину  $h = 0,8-1,2$  мм и закалкой до твердости HRC 56–61. Не стандартизованные крупногабаритные призмы изготавливают из серого чугуна, а в местах контакта с заготовками крепят закаленные стальные пластины или опоры (рис. 11, в).

Предельную нагрузку ( $Q$  в Н) на призму определяют по формуле

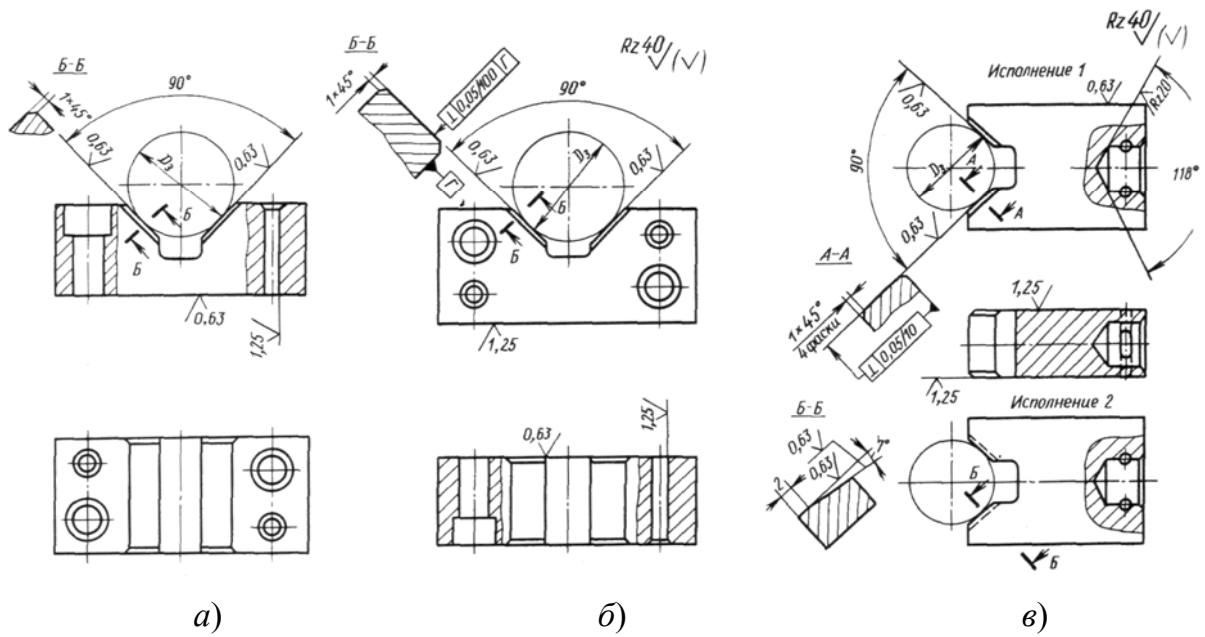
$$Q = 7 \cdot D \cdot b, \quad (3.7)$$

где  $D$  – диаметр заготовки (в мм);  $b$  – длина линии контакта заготовки с призмой (в мм).

Призмы являются установочными элементами, создающими: одну опорную точку на скрытой опорной базе и две опорные точки на скрытой направляющей базе в первом комплекте баз (табл. 3, схемы 2, 4); две опорные точки двойной опорной базы, во втором комплекте баз на коротких цилиндрических поверхностях (табл. 3, схемы 5, 6, 11); или четыре опорные точки двойной направляющей базы, на длинных цилиндрических поверхностях в третьем комплекте баз (табл. 3, схема 23).

Обычно угол призмы  $\alpha = 90^\circ$  (рис. 11, а), не стандартные призмы могут иметь углы  $\alpha = 120^\circ$  и др.

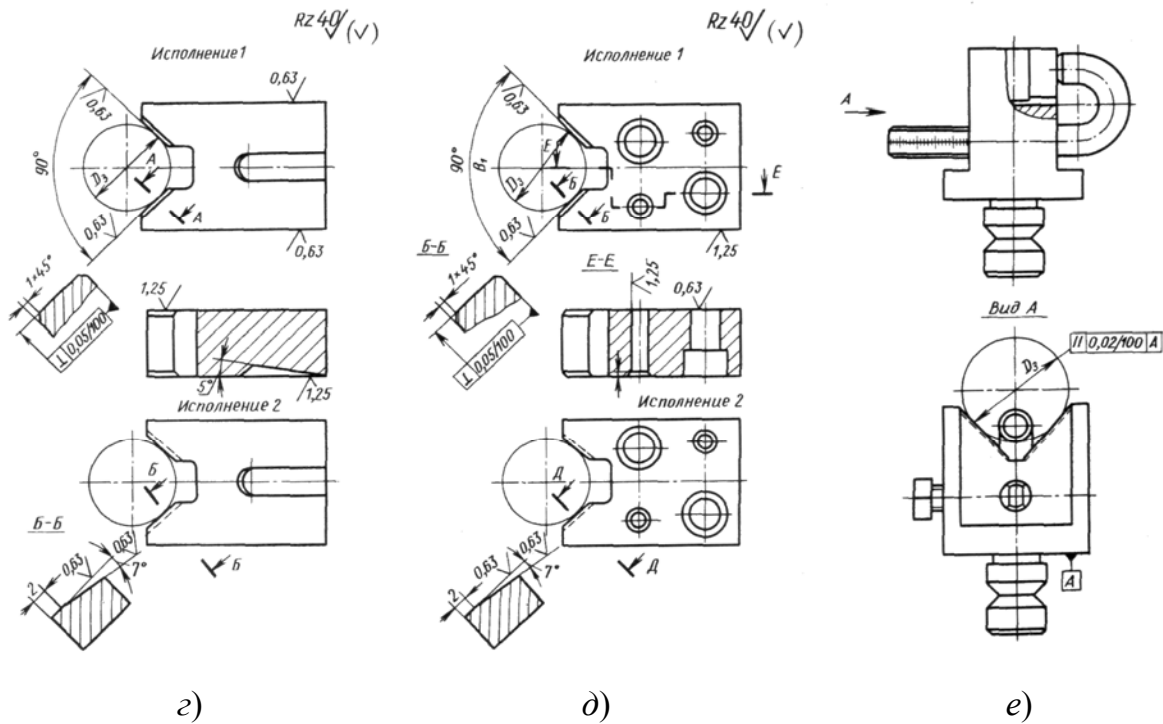
При установке в призму погрешность базирования ( $\varepsilon_6$ ) является функцией от допуска ( $T_d$ ) на диаметр  $d$ , угла призмы  $\alpha$ , угла расположения обрабатываемой поверхности относительно плоскости симметрии призмы и еще от погрешностей формы базовой поверхности заготовки.



а)

б)

в)



г)

д)

е)

Рис. 12. Призмы:

- а – опорные по ГОСТ 12195–66 (диаметр базы устанавливаемой заготовки  $D_3 = 5–150$  мм);
- б – с боковым креплением по ГОСТ 12197–66 ( $D_3 = 5–150$  мм);
- в – подвижные по ГОСТ 12193–66 ( $D_3 = 5–100$  мм);
- г – установочные по ГОСТ 12194–66 ( $D_3 = 5–100$  мм);
- д – неподвижные по ГОСТ 12196–66 ( $D_3 = 3–100$  мм);
- е – призматические опоры по ГОСТ 16897–71 ( $D_3 = 10–90$  мм)

Конструкторскими базами при задании расположения обрабатываемой поверхности  $\Pi$  заготовки могут быть образующие наружной цилиндрической поверхности ( $A, B$ ) или ось ( $B$ ) (рис. 13,  $a$ ).

Наибольшие отклонения технологических баз от конструкторских (максимальные погрешности базирования) возникнут при предельном отклонении диаметра заготовки  $d_{\min}$  от номинального (наибольшего  $d_{\max}$ ) значения и составят (рис. 13,  $b$ ): для размера  $H_1 - \Delta B$ ; для размера  $H_2 - \Delta B$ ; для размера  $H_3 - \Delta A$ .

$$\begin{aligned}\varepsilon_{\delta H_3} = \Delta A = R - r &= \left( \frac{d_{\max}}{2 \cdot \sin \alpha/2} + \frac{d_{\max}}{2} \right) - \left( \frac{d_{\min}}{2 \cdot \sin \alpha/2} + \frac{d_{\min}}{2} \right) = \\ &= \frac{d_{\max}}{2} \left( \frac{1}{\sin \alpha/2} + 1 \right) - \frac{d_{\min}}{2} \left( \frac{1}{\sin \alpha/2} + 1 \right) = \\ &= \left( \frac{d_{\max}}{2} - \frac{d_{\min}}{2} \right) \left( \frac{1}{\sin \alpha/2} + 1 \right) = \frac{T_d}{2} \left( \frac{1}{\sin \alpha/2} + 1 \right);\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\varepsilon_{\delta H_1} = \Delta B &= \left( \frac{d_{\max}}{2 \cdot \sin \alpha/2} - \frac{d_{\max}}{2} \right) - \left( \frac{d_{\min}}{2 \cdot \sin \alpha/2} - \frac{d_{\min}}{2} \right) = \\ &= \frac{d_{\max}}{2} \left( \frac{1}{\sin \alpha/2} - 1 \right) - \frac{d_{\min}}{2} \left( \frac{1}{\sin \alpha/2} - 1 \right) = \\ &= \left( \frac{d_{\max}}{2} - \frac{d_{\min}}{2} \right) \left( \frac{1}{\sin \alpha/2} - 1 \right) = \frac{T_d}{2} \left( \frac{1}{\sin \alpha/2} - 1 \right);\end{aligned}$$

$$\varepsilon_{\delta H_2} = \Delta B = \frac{d_{\max}}{2 \cdot \sin \alpha/2} - \frac{d_{\min}}{2 \cdot \sin \alpha/2} = \frac{1}{\sin \alpha/2} \left( \frac{d_{\max}}{2} - \frac{d_{\min}}{2} \right) = \frac{T_d}{2 \cdot \sin \alpha/2}.$$



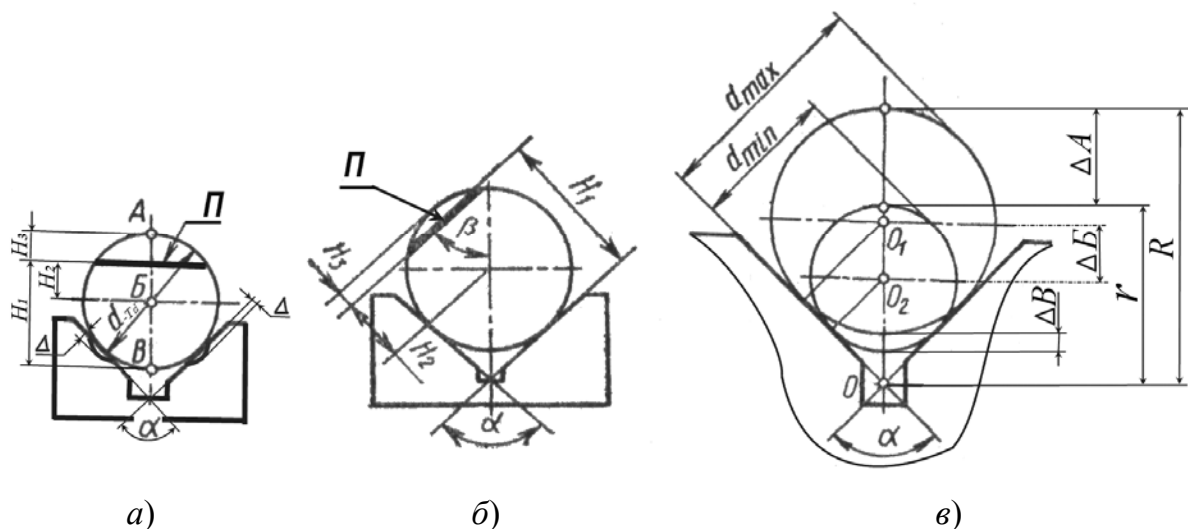


Рис. 13. Схемы для определения погрешностей базирования в призме

При обработке поверхности  $\Pi$  цилиндрической детали с допуском  $T_d$  на диаметр ( $d_{Td}$ ) под произвольным углом  $\beta$  к плоскости симметрии призмы с углом  $\alpha$  между ее базирующими плоскостями (рис. 13, а, б) погрешности базирования составят для размеров  $H_1, H_2, H_3$  соответственно:

$$\varepsilon_{\delta H_1} = \frac{T_d}{2} \left( \frac{\sin \beta}{\sin \alpha/2} - 1 \right); \quad \varepsilon_{\delta H_2} = \frac{T_d \cdot \sin \beta}{2 \cdot \sin \alpha/2}; \quad \varepsilon_{\delta H_3} = \frac{T_d}{2} \left( \frac{\sin \beta}{\sin \alpha/2} + 1 \right).$$

При износе призм на их боковых поверхностях образуются лунки глубиной  $\Delta$ , которые вызывают смещение оси заготовки вниз на величину

$\left( \frac{\Delta}{\sin \alpha/2} + 1 \right)$  для размеров, заданных от базы  $A$  (рис. 13, а); смещение

$\frac{\Delta}{\sin \alpha/2}$  для размеров, заданных от базы  $B$ ; смещение

$\left( \frac{\Delta}{\sin \alpha/2} - 1 \right)$  для размеров, заданных от базы  $B$ .

Погрешность формы в виде конусности (рис. 14, в) вызывает наклон заготовки в призме на угол  $\beta = \arctg(i/(2 \cdot \sin \alpha/2))$ , где  $i$  – конусность,  $i = (d_1 - d_2)/l$ ;  $d_1, d_2$  – соответственно больший и меньший диаметры конуса;  $l$  – длина конуса.

Если поперечное сечение имеет эллиптичность, то его ось занимает разное положение по высоте и в горизонтальном направлении для различных угловых положений сечения (рис. 14, б, з).

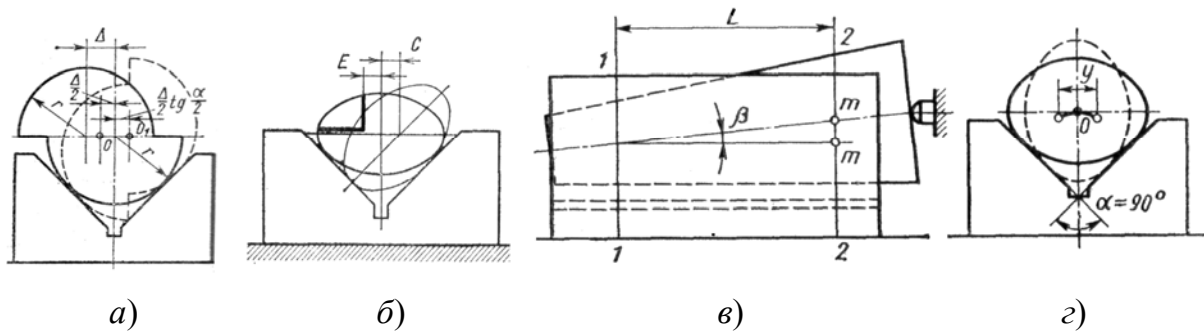


Рис. 14. Погрешности базирования в призме, вызванные погрешностью формы реальной поверхности заготовки

У заготовок, штампуемых на молотах, может быть погрешность (рис. 14, а), вызванная сдвигом штампов на величину  $\Delta$ . Приняв допустимую величину смещения штампов  $\Delta = 0,4 \cdot T_d$ , где  $T_d$  – допуск на диаметр заготовки при  $\alpha = 90^\circ$ , вертикальное и горизонтальное смещение оси заготовки составит  $0,2 \cdot T_d$ .

Недоштамповка заготовки увеличивает размер, перпендикулярный к плоскости разреза, и смещает заготовку по оси симметрии призмы на  $y = \delta / (2 \cdot \operatorname{tg} \alpha / 2)$ , где  $\delta$  – величина недоштамповки.

При закреплении заготовки в призме происходят контактные деформации, смещающие ее ось. Это смещение ( $y$ ) в плоскости призмы с углом  $\alpha = 90^\circ$  можно определить по эмпирической формуле для стальных и чугунных заготовок:

$$y = \left[ \left( 0,005 \cdot R_z + 15 / \text{НВ} \right) + 0,086 + 8,4 / D \right] \left( Q / 2L \right)^{0,7}, \quad (3.8)$$

где  $R_z$  – высота неровностей базовой поверхности заготовки, мкм; НВ – твердость материала заготовки по Бриннелю;  $D$  – диаметр заготовки в месте установки, мм;  $Q$  – усилие зажима, действующее по оси симметрии призмы, кгс;  $L$  – длина образующей, по которой происходит контакт поверхностей заготовки с плоскостями призмы, см.

Условия применения формулы:  $D = 15\text{--}100$  мм,  $R_z = 5\text{--}0,32$  мкм, НВ = 120–250,  $Q \leq 7 \cdot D \cdot L$ .

### **3.4. Установка заготовок в самоцентрирующих патронах**

Механизмы одновременного перемещения кулачков самоцентрирующих патронов обеспечивают материализацию скрытых технологических баз на оси заготовки: двойной опорной во втором комплекте баз; или двойной направляющей в третьем комплекте баз.

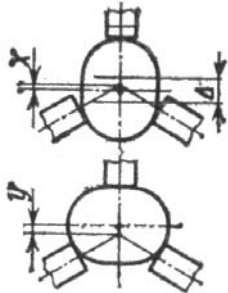
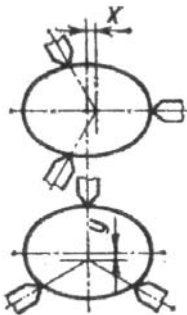
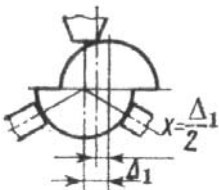
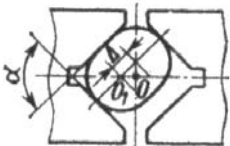
Эти базы располагаются по оси симметрии цилиндрической или призматической базовой поверхности заготовки (см. табл. 3, схемы № 8, 9, 16, 17). Поэтому такие патроны в основном применяются для установки симметричных заготовок при обработке поверхностей с параметрами точности, заданными от осей симметрии, так как для этих параметров точности погрешности базирования в самоцентрирующих патронах будут отсутствовать.

Однако при установке в самоцентрирующих патронах возникают смещения оси заготовки (материализованной по реальной поверхности) от оси, принятой за конструкторскую базу из-за погрешностей формы реальной базовой поверхности. Например, такие погрешности представлены в табл. 6.

Силы закрепления, действующие на заготовку в местах контактов с кулачками в самоцентрирующих патронах, вызывают контактные деформации базовой поверхности и искажения формы обрабатываемой поверхности. Например, при закреплении колец в самоцентрирующих патронах возникают погрешности формы цилиндрической поверхности в виде прогибов и выпучиваний, значения которых зависят от размеров, усилий закрепления и резания, формы, размеров и количества кулачков. В широких кулачках, при прочих равных условиях, деформация колец снижается.

Суммарная погрешность установки в самоцентрирующих патронах, зависящая как от перечисленных выше факторов, так и от погрешностей изготовления патронов, присутствует при любой установке или переустановке. Поэтому для исключения ее влияния на параметры точности обрабатываемых поверхностей их обработку следует производить при неизменной установке (в одну установку).

**Погрешности базирования в самоцентрирующих патронах,  
зависящие от погрешностей формы базовой поверхности**

Патрон	Погрешность формы	Схема установки	Смещение оси
Трёхкулачковый с широкими кулачками	Отклонение от круглости из-за недоштамповки		$x = 0,17\Delta;$ $y = 0,29\Delta,$ где $\Delta$ – недоштамповка
Трёхкулачковый с узкими кулачками	Эллиптичность		$x = \frac{a(a^2 - b^2)}{3b^2 + b^2};$ $y = \frac{b(a^2 - b^2)}{3a^2 + b^2},$ где $a, b$ – большая и малая полуоси эллипса
Трёхкулачковый с широкими кулачками	Отклонение от круглости из-за сдвига штампов		Наибольшее смещение для различных углов поворота заготовки $x = \Delta_1/2,$ где $\Delta_1$ – сдвиг штампов
С двумя центрирующими призмами	Отклонение от круглости из-за недоштамповки		Наибольшее смещение $OO_1 = 0,7\Delta,$ где $\Delta$ – недоштамповка

### 3.5. Установка цилиндрических заготовок во втулку

При установке заготовок в короткие (относительно их диаметров) втулки их базировочные поверхности образуют второй комплект баз. При этом заготовки закрепляют, как правило, приложением осевой силы, направленной на установочную плоскость.

Зазор в сопряжении базовой поверхности заготовки с базировочной втулкой и действительное расположение базовой поверхности от конструкторских баз определяют для параметров точности обрабаты-

ваемых поверхностей погрешности базирования. Так как они вызывают отклонение технологической базы (оси втулки или точки контакта втулки с заготовкой при настройке от них инструмента) от конструкторских (измерительных) баз для выдерживаемых ПТ при обработке.

Например, при установке заготовки 1 во втулку 2 на рис. 15 конструкторскими (измерительными) базами для выдерживаемых размеров и их допусков при фрезеровании уступа являются:

- для размера  $A$  – образующая базовой цилиндрической поверхности диаметром ( $d_{-T}$ );
- для размера  $B$  – образующая цилиндрической поверхности диаметром ( $d_{1-T_1}$ );
- для размера  $C$  – ось заготовки.

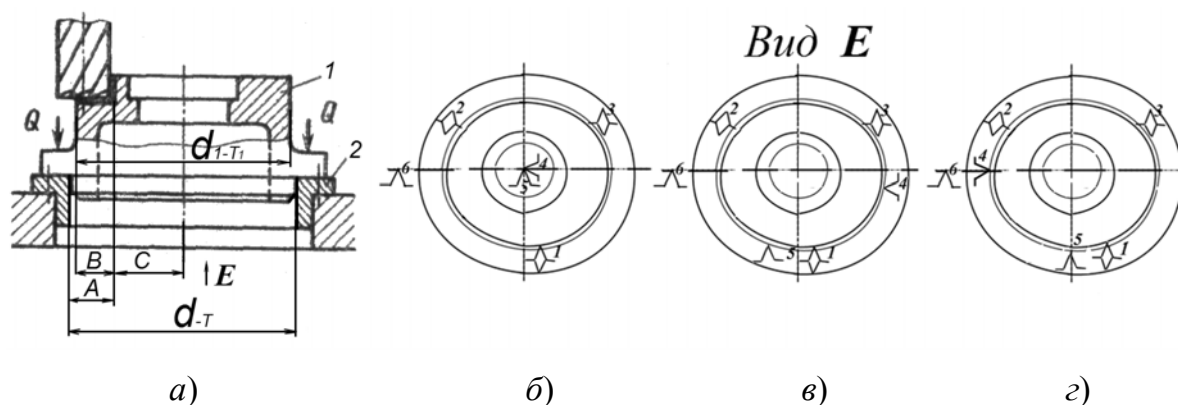


Рис. 15. Пример установки в короткую втулку

При настройке инструмента от оси втулки технологическая (настроечная) база как будто совпадает с конструкторской базой для размера  $C$ , но не совпадает с конструкторскими базами для размеров  $A$  и  $B$ . Поэтому при такой настройке размеры  $A$  и  $B$  не могут быть получены без погрешностей базирования. А поверхность в размер  $C$  может быть обработана без погрешности базирования, если оси реальных поверхностей заготовки с диаметрами  $d_{-T}$  и  $d_{1-T_1}$  совпадают с общей осью заготовки, перпендикулярной установочной плоскости базового торца, что возможно только теоретически в конструкторской системе координат. В расчетах при определении погрешностей базирования принимают наибольшие отклонения из возможных в действительности, т. е. оси реальных поверхностей заготовки с диаметрами  $d_{-T}$  и  $d_{1-T_1}$  могут отстоять друг от друга на величину эксцентриситета  $e$  (не соосности  $d$  и  $d_1$ ).

Технологической двойной опорной базой заготовки с опорными точками (ОТ 4, 5) для выдерживаемых размеров  $A, B, C$  могут быть:

1) при установке заготовки во втулку с натягом (рис. 15, б) – ось втулки 2, совпадающая с осью базовой поверхности диаметром  $d_{-T}$ ;

2) при установке с зазором и креплением перпендикулярно установочной базе – произвольно расположенная образующая базового участка диаметром  $d_{-T}$  (обозначаемая на схеме базирования двумя опорными точками (ОТ 4, 5 рис. 15, в), произвольно расположенными на реальной цилиндрической поверхности базового участка);

3) при установке заготовки во втулку с зазором и односторонним прижимом – образующая базового участка диаметром  $d_{-T}$ , контактирующая с втулкой и на схеме базирования (обозначаемая одной опорной точкой на реальной цилиндрической поверхности базового участка, с определенным расположением (ОТ 4 рис. 15, г) в точке контакта заготовки с базирующей втулкой).

Погрешности базирования для рассмотренных случаев технологического базирования при настройке инструмента от оси втулки:

1) при установке с натягом

$$\varepsilon_{\delta A} = T/2; \quad \varepsilon_{\delta B} = T_1/2 + 2 \cdot e; \quad \varepsilon_{\delta C} = 2 \cdot e,$$

где  $e$  – эксцентриситет цилиндрического участка заготовки ( $d_{1-T_1}$ ) относительно базового  $d_{-T}$ ;  $T$  – допуск базового цилиндрического участка заготовки;  $T_1$  – допуск обрабатываемого участка заготовки;

2) при установке с зазором

$$\varepsilon_{\delta A} = z_{\max} + T/2; \quad \varepsilon_{\delta B} = z_{\max} + T_1/2 + 2 \cdot e; \quad \varepsilon_{\delta C} = z_{\max} + 2 \cdot e,$$

где  $z_{\max}$  – наибольший зазор в сопряжении заготовки с втулкой;

3) при установке с зазором при одностороннем прижиге к базирующей поверхности втулки с допуском  $T_B$

$$\varepsilon_{\delta A} = T/2 + T_B/2; \quad \varepsilon_{\delta B} = T/2 + T_B/2 + T_1/2 + 2 \cdot e;$$

$$\varepsilon_{\delta C} = T/2 + T_B/2 + 2 \cdot e.$$

Как видно из формул, ни один из размеров  $A, B, C$  не может быть получен без погрешности базирования при принятых выше условиях. Чтобы повысить точность выдерживаемых параметров при обработке с установкой заготовки во втулку с зазором и односторон-

ним прижимом влево, настройку инструмента следует производить от втулки в точке контакта с заготовкой. В этом случае погрешности выдерживаемых размеров примут значения:

$$\varepsilon_{\delta A} = 0; \quad \varepsilon_{\delta B} = T/2 + T_1/2 + 2e; \quad \varepsilon_{\delta C} = T/2 + 2e.$$

При установке заготовок в длинную втулку, у которой длина цилиндрической базовой поверхности больше длины плоского торца, применяется третий комплект баз с определяющей двойной направляющей базой. Такая база должна материализоваться по наиболее удаленным базовым участкам. В этом случае двойную направляющую базу следует рассматривать как сочетание двух двойных опорных баз. Для таких заготовок образование погрешностей базирования происходит аналогичным образом, как в рассмотренных выше примерах образования погрешностей базирования для выдерживаемых параметров точности. При использовании в качестве определяющей базы длинной цилиндрической поверхности в третьем комплекте баз, заготовки закрепляют приложением поперечных или осевых сил.

### **3.6. Установка заготовок с базовым отверстием**

Такие установки производят с использованием второго или третьего комплектов баз для выдерживания параметров точности, заданных от скрытых двойной опорной или двойной направляющей баз, расположенных по оси базовых отверстий заготовок. Заготовки устанавливаются на разжимные и жесткие оправки и пальцы. По короткому базовому отверстию материализуется двойная опорная база (см. табл. 3, схемы № 9, 10). Торцы таких заготовок являются определяющей базой второго комплекта баз, а различные элементы (шпоночный паз, радиальное отверстие и т. п.) определяют угловое положение при полном базировании. У заготовок с длинным базовым отверстием определяющей является двойная направляющая база третьего комплекта баз, а размеры торцов, как правило, не больше длин отверстий, и они используются как опорные базы для определения от них линейных размеров (см. табл. 3, схемы № 19–22). Полную ориентацию в третьем комплекте баз заготовка получает при упоре в торец (опорная точка 5) и различные элементы (шпоночный паз, отверстие или выступ), обеспечивающие ее угловую координацию (опорная точка 6) (см. табл. 3, схему № 23).

Схема установки по двум длинным базовым отверстиям и прилегающему к ним торцу (рис. 16) использует третий комплект баз, с определяющей двойной направляющей базой по одному из базовых

отверстий. Для базирования по необработанным отверстиям применяют точечные опоры. Заготовку блока цилиндров надевают на две консольные оправки с выдвижными центрирующе-зажимными элементами (опорами, плунжерами). Правая оправка, имеющая шесть опор, одновременно раздвигаемых в радиальных направлениях, создает двойную направляющую базу по оси правого отверстия. Левая оправка имеет две раздвигаемые опоры по вертикали, препятствующие повороту и материализующие скрытую опорную базу, расположенную в плоскости симметрии левого базового отверстия. Базирование по длине обеспечивается упором торца блока в неподвижную опору. Схема установки полностью ориентирует блок в технологической системе координат. Применяя эту схему, при выполнении первой технологической операции создают явные базы (1, 2, 3) первого комплекта для последующей обработки, обеспечивая более равномерный припуск в отверстиях блока цилиндров.

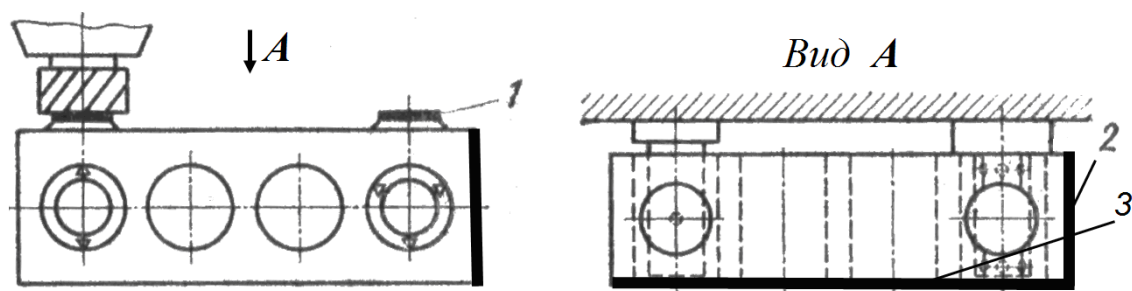


Рис. 16. Установка по двум базовым отверстиям и прилегающему к ним торцу

Во многих деталях отклонение от соосности поверхностей не должно превышать 0,01 мм. Это достигается обработкой поверхностей с одной установки или применением точных центрирующе-зажимных приспособлений для базовых отверстий (оправок и патронов). Точность центрирования измеряется смещением оси базовой поверхности заготовки относительно оси вращения центрирующе-зажимного устройства. Погрешность центрирования измеряется биением эталонной детали, установленной на это устройство.

Для установки заготовок на базовое отверстие применяют жесткие оправки (конические, цилиндрические с натягом и с зазором, шлицевые) (рис. 17) и разжимные (цанговые, плунжерные, гидростовые, с гофрированными втулками, с тарельчатыми пружинами и т. п.) (рис. 18).



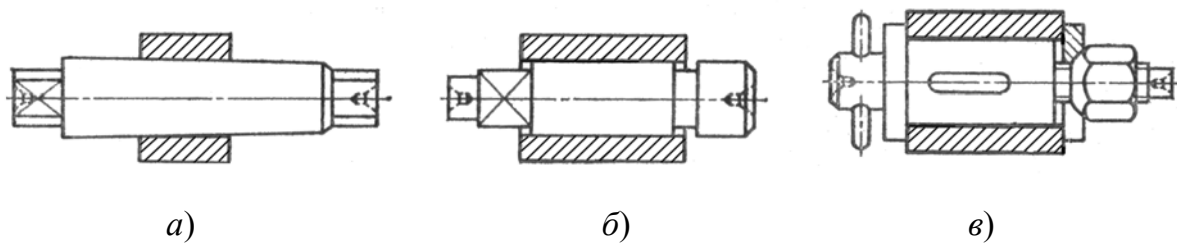


Рис. 17. Жесткие оправки: а – коническая; б – цилиндрическая для установки с натягом; в – цилиндрическая для установки с зазором

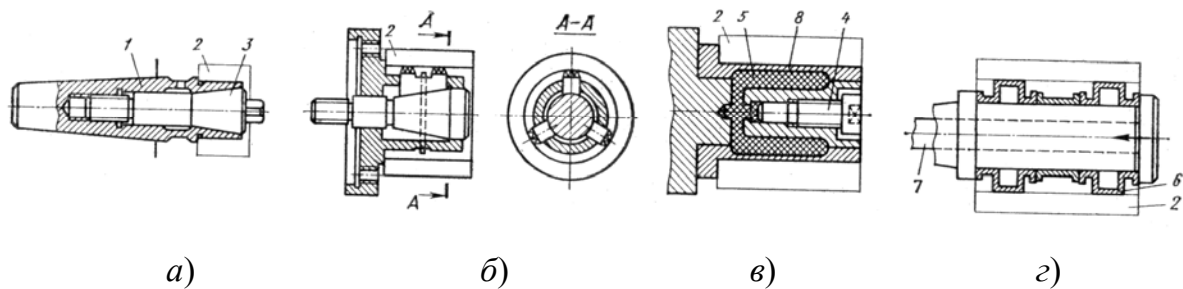


Рис. 18. Разжимные оправки: а – цанговая; б – плунжерная; в – гидропластовая; г – с гофрированными втулками

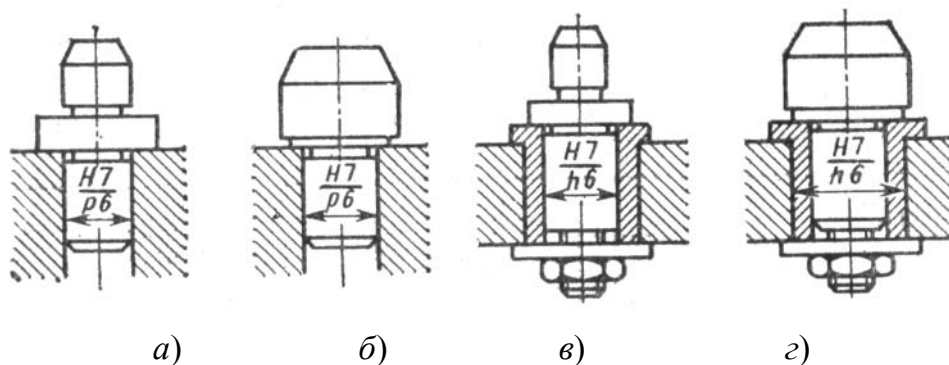


Рис. 19. Установочные пальцы: а, б – постоянные; в, г – сменные

Установку заготовок базовыми отверстиями в приспособлениях производят на консольные цилиндрические постоянные пальцы ГОСТ 12209 и ромбические ГОСТ 12210 (рис. 19, б); цилиндрические с упором ГОСТ 16898 (рис. 19, а); ромбические с упором ГОСТ 16899, 16900, 16901; на сменные пальцы ГОСТ 12211, 12212 (рис. 19, в, г); цилиндрические высокие: ГОСТ 17774, 17775. Втулки для пальцев без буртика ГОСТ 12215; с буртиком ГОСТ 12214.

Пальцы диаметром до 16 мм изготавливают из стали У7А, а диаметром более 16 мм из стали 20Х с цементацией на глубину 0,8–1,2 мм

и закалкой до твердости HRC 50–55. Рабочую поверхность пальцев обрабатывают с допусками g6, g7, f6, f7, f8, d9 и шероховатостью до  $Ra = 0,63–0,32$ .

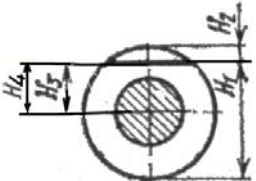
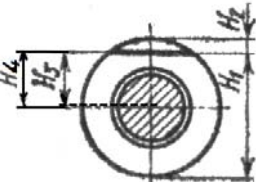
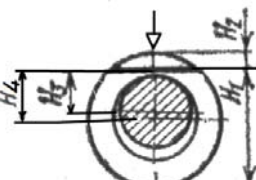
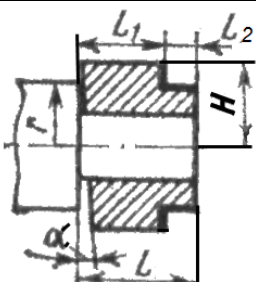
Погрешности базирования на пальцы и жесткие оправки с зазором характеризуются смещениями заготовки на величину диаметрального зазора между поверхностями сопряжения.

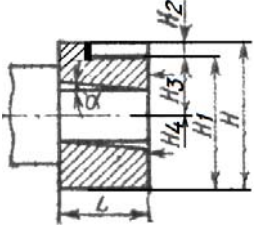
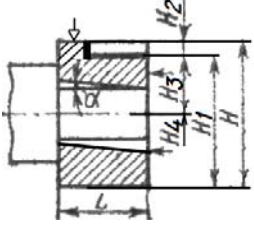
При одностороннем прижиме заготовки к пальцу ось отверстия заготовки смещается от оси пальца, образуя погрешность базирования, равную половине суммы допусков отверстия и пальца.

Если базовый торец заготовки не перпендикулярен к оси отверстия, то происходит отклонение оси отверстия от оси пальца. В табл. 7 приведены погрешности базирования для типовых случаев установки заготовок отверстиями на пальцы и оправки.

Таблица 7

Типовые погрешности базирования заготовок по базовым отверстиям

Характеристика установки заготовки	Эскиз	Параметр точности	Формула погрешности базирования $\epsilon_{6i}$ для параметров точности
С натягом или на разжимную оправку		$H_1$ $H_2$ $H_3$ $H_4$	$T/2 + 2 \cdot e$ $T/2 + 2 \cdot e$ $2 \cdot e$ $0$
С зазором		$H_1$ $H_2$ $H_3$ $H_4$	$T/2 + 2 \cdot e + Z_{\max}$ $T/2 + 2 \cdot e + Z_{\max}$ $2 \cdot e + Z_{\max}$ $Z_{\max} = T_1 + T_2 + 2\delta$
С зазором и односторонним прижимом		$H_1$ $H_2$ $H_3$ $H_4$	$T/2 + 2 \cdot e + T_1/2 + T_2/2$ $T/2 + 2 \cdot e + T_1/2 + T_2/2$ $2 \cdot e + T_1/2 + T_2/2$ $T_1/2 + T_2/2$
Без зазора, торец не перпендикулярен к оси длинного отверстия		$L_1$ $L_2$	$(H - r) \operatorname{tg} \alpha$ $T_L + (H - r) \operatorname{tg} \alpha$

Характеристика установки заготовки	Эскиз	Параметр точности	Формула погрешности базирования $\varepsilon_{bi}$ для параметров точности
С зазором и закреплением к торцу, не перпендикулярному к оси отверстия		$H_1$ $H_2$ $H_3$ $H_4$	$T/2 + 2 \cdot e + Z_{\max} + L \cdot \operatorname{tg} \alpha$ $T/2 + 2 \cdot e + Z_{\max} + L \cdot \operatorname{tg} \alpha$ $2 \cdot e + Z_{\max} + L \cdot \operatorname{tg} \alpha$ $Z_{\max} + L \cdot \operatorname{tg} \alpha$
С зазором, закреплением к торцу, не перпендикулярному к оси отверстия, и односторонним прижимом		$H_1$ $H_2$ $H_3$ $H_4$	$T/2 + 2 \cdot e + T_1/2 + T_2/2 + L \operatorname{tg} \alpha$ $T/2 + 2 \cdot e + T_1/2 + T_2/2 + L \operatorname{tg} \alpha$ $2 \cdot e + T_1/2 + T_2/2 + L \cdot \operatorname{tg} \alpha$ $T_1/2 + T_2/2 + L \cdot \operatorname{tg} \alpha$

*Примечание.*  $T$  – допуск наружной поверхности;  $e$  – эксцентриситет наружной поверхности относительно базового отверстия;  $Z_{\max}$  – наибольший зазор между отверстием и оправкой (пальцем);  $T_1, T_2$  – допуски на диаметры отверстия и пальца;  $2\delta$  – наименьший (гарантированный) зазор в сопряжении отверстия и пальца;  $H_3$  – размер от оси наружной поверхности;  $H_4$  – размер от оси базового отверстия;  $T_L$  – допуск на длину  $L$ .

### 3.7. Установка на внешние цилиндрические поверхности с пересекающимися осями

Применяется при обработке заготовок тройников, крестовин, задвижек, и подобных деталей на фрезерных сверлильных, расточных, агрегатных, многошпиндельных станках с выдерживанием размеров  $A, B, C, D$ , заданных от осей или плоскостей симметрии (скрытых баз). Основными опорами служат узкие призмы или шесть точечных опор для необработанных заготовок (см. рис. 11, в).

Закрепляют заготовки обычно силой, направленной на призмы. Обработку заготовок с использованием необработанных баз следует выполнять за одну установку, применяя поворотные приспособления или агрегатные многошпиндельные станки.

Обработку крестовин следует производить при базировании в трех призмах (а не четырех), а вместо четвертой призмы (рис. 20, б), если необходимо, следует применять подводимую опору (или самоустанавливающуюся (см. рис. 8, б, в)).

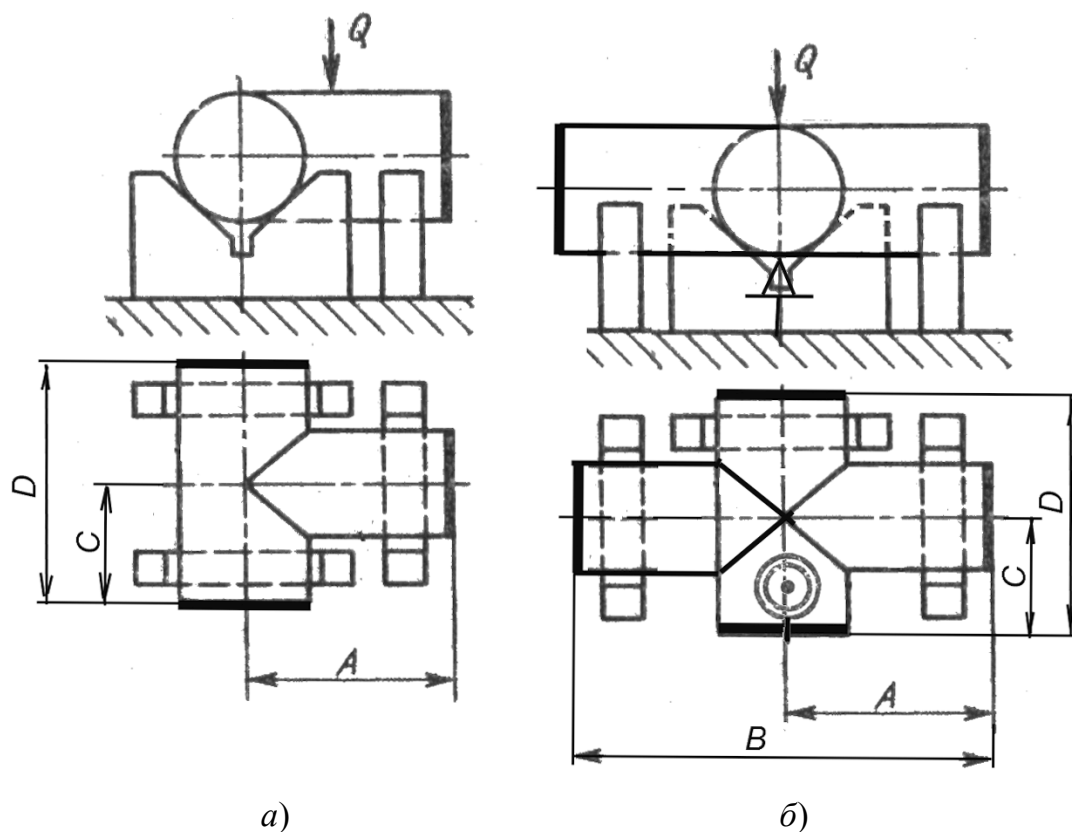


Рис. 20. Установка заготовок с пересекающимися внешними цилиндрическими поверхностями

### 3.8. Установка заготовок на внутренние цилиндрические поверхности с пересекающимися (перекрещивающимися) осями

Применяется при обработке рам и корпусов на фрезерных, сверлильных и расточных станках. Если базовые отверстия сплошные, то при установке в приспособление и снятии заготовок необходимо применять выдвижные установочные элементы.

Если база не замкнутое отверстие, используют также и жесткие опоры. Эту установку выполняют на обработанные и необработанные базы.

На рис. 21 показана установка рамы горизонтальной поршневой машины на необработанные базы коренных подшипников и поверхность направляющей ползуна. Всего используется шесть опорных точек, поэтому заготовка рамы лишена всех степеней свободы и занимает в пространстве полностью ориентированное положение. При установке в этом приспособлении на раме обрабатывают плоскости установочных лап и два отверстия в них. При последующем растачи-

вании гнезд коренных подшипников и направляющей ползуна, с базированием на обработанных лапах с двумя отверстиями, обеспечивается равномерное снятие припуска.

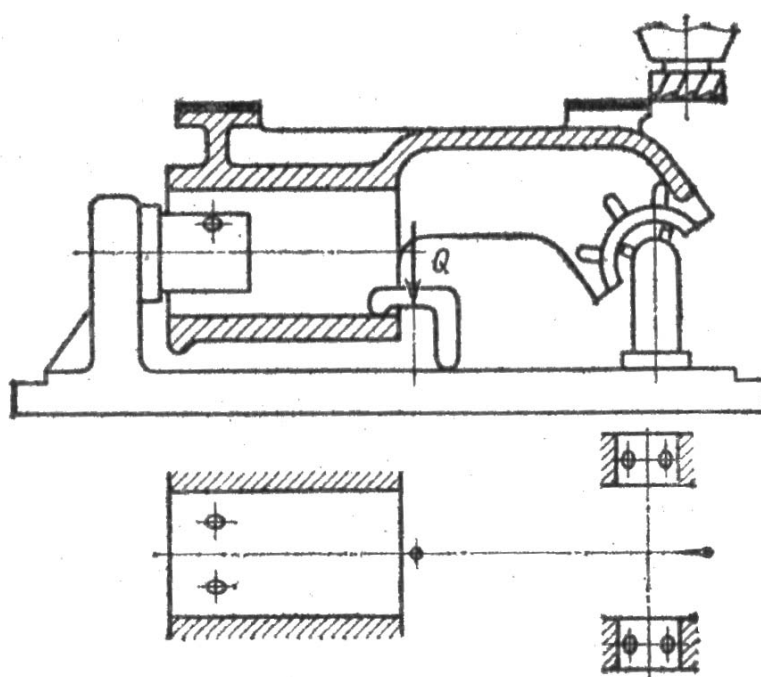


Рис. 21. Установка рамы горизонтальной поршневой машины

При сплошных базовых поверхностях опоры под гнезда коренных подшипников выполняют выдвжными в осевом направлении (или одна выдвжная, а вторая жесткая). Заготовки закрепляют прихватами или раздвигаемыми в радиальных направлениях опорными элементами (плунжерами), встроенными в выдвжные оправки.

### 3.9. Установка заготовок на центровые гнезда и конические фаски

Установку на внутренние или наружные фаски применяют при обработке валов и полых деталей на токарных, круглошлифовальных станках и при обработке деталей, установленных на центровые оправки.

Центровые отверстия (гнезда) выполняют по ГОСТ 14034–74. В качестве установочных элементов используют центры с углом  $60^\circ$ . Применяют центры и полуцентры неподвижные (передние и задние на центровых станках); упорные при частоте вращения менее 120 об/мин; при большей частоте вращения – вращающиеся нормальной и усиленной серий (ГОСТ 8742–75).

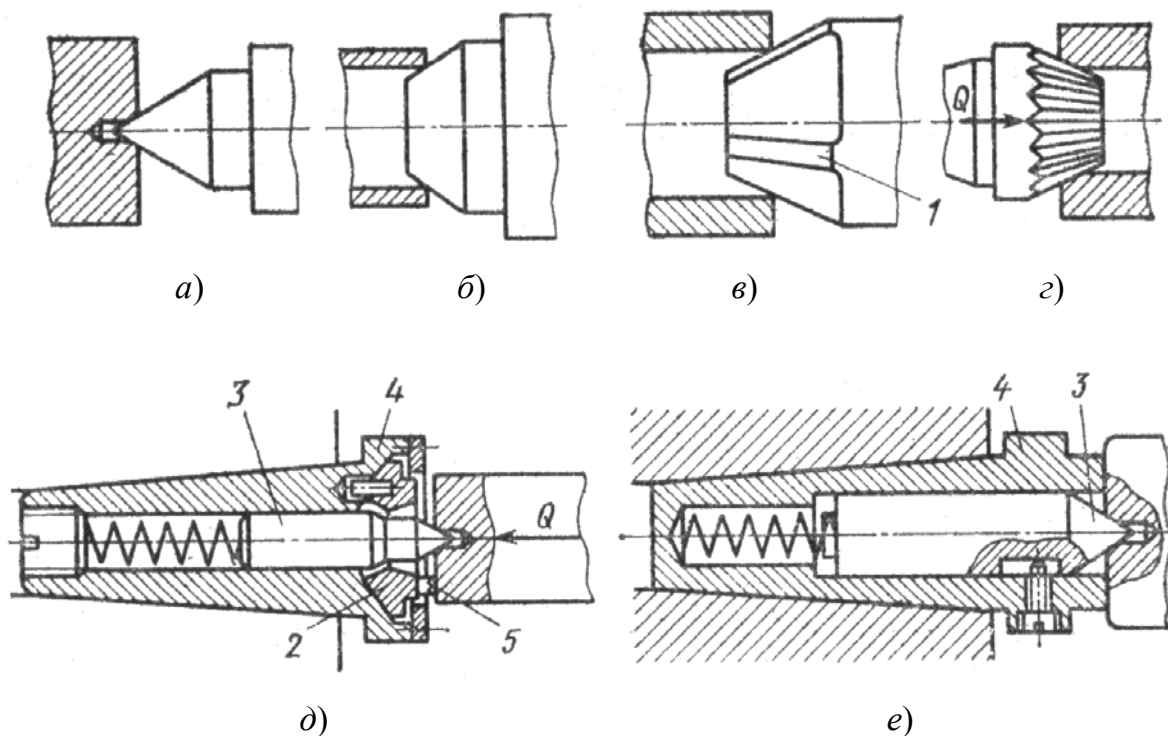


Рис. 22. Центры

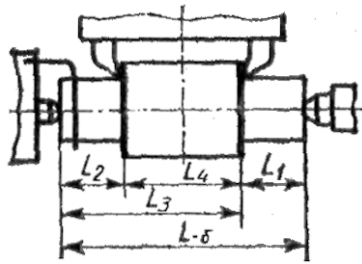
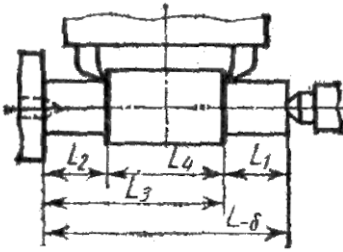
Стандартизированные центры и полуцентры изготавливают нормальной и повышенной точности. При обработке прецизионных валов центровые отверстия притирают или подвергают шлифованию, чтобы уменьшить вредное влияние отклонений формы таких отверстий на точность обработки. Изготавливают центры из сталей 45, У6А, У8А с термообработкой до HRC 55–60, износостойкость накоенчиков повышают наплавкой твердого сплава.

По оси сопряжения центрового гнезда с центром в схеме базирования располагаются две опорные точки двойной опорной базы. При установке на жесткий центр погрешность базирования для продольных (осевых) размеров зависит от точности выполнения центровых гнезд. Если глубина гнезда оговорена допуском, то погрешность базирования  $\varepsilon_{\delta i}$  для размера от левого торца (расположенного у передней бабки) до любого уступа, подрезаемого на станке (при настройке от левого торца), равна этому допуску. Для точной установки по длине применяют плавающий передний центр (рис. 22, д, е), в котором переменная глубина центрового гнезда не влияет на продольное положение заготовки, так как упор торца заготовки производится в корпус центра, и при этом совмещаются технологическая и конструкторская базы, тогда для размеров, заданных от левого торца,  $\varepsilon_{\delta i} = 0$ .

В табл. 8 приведены значения погрешностей базирования для осевых размеров, выдерживаемых от левого торца заготовки.

Таблица 8

**Погрешности базирования продольных размеров**

Установка	Схема установки	Выполняемый размер	Погрешность базирования
На жесткий передний и выдвигной задний центры		$L_1$ $L_2$ $L_3$ $L_4$	$\delta + \delta_{ц}$ $\delta_{ц}$ $\delta_{ц}$ 0
На плавающий передний и выдвигной задний центры		$L_1$ $L_2$ $L_3$ $L_4$	$\delta$ 0 0 0

*Примечание.*  $\delta$  – допуск на длину  $L$  заготовки;  $\delta_{ц}$  – допуск на глубину левого центрального гнезда.

При отклонении от соосности центральных гнезд возникают кромочные касания центров с гнездами (рис. 23, а). Это же происходит и при несовпадении углов гнезд и центров. Под действием радиальной силы такая заготовка смещается в поперечном и продольном направлениях в результате смятия и износа кромок центральных гнезд.

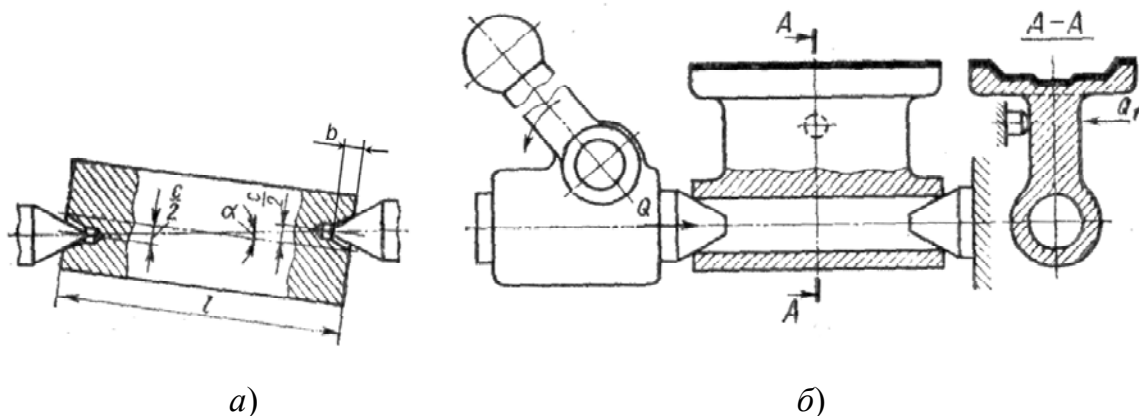


Рис. 23. Схемы установки на два центра

При малых углах  $\sin \alpha \approx \operatorname{tg} \alpha \approx \alpha$  ( $\alpha$  в радианах). При отклонении от соосности  $C$  центровых отверстий угол перекося  $\alpha$  заготовки длиной  $l$  составит:

$$\alpha = \operatorname{arctg}(c/l) \approx \operatorname{tg}(c/l) \approx c/l.$$

Поперечное смещение заготовки за время от начала смятия кромок до образования контакта по всей поверхности центровых гнезд:

$$y = b \cdot \sin \alpha; \quad \sin \alpha \approx c/l; \quad y \approx b \cdot c/l,$$

где  $b$  – длина (высота) конуса центрального гнезда.

Смещение заготовки в осевом направлении

$$x = y / \operatorname{tg} 30^\circ \approx \sqrt{3} \cdot b \cdot c/l.$$

Это смещение заметно при обычных условиях обработки. Так при отклонении от соосности центров в 1 мм, при длине заготовки 200 мм и длине гнезда  $b = 5$  мм смещение:

$$x = \sqrt{3} \cdot 5 \cdot 1/200 = 0,043; \quad y = 5 \cdot 1/200 = 0,025.$$

Смятие и износ кромок, а также погрешность формы центровых гнезд в поперечном сечении вызывает отклонение от круглости обрабатываемых шеек. Ее можно уменьшить шлифованием, притиркой или обжатием гнезд эталонным центром перед началом обработки.

При установке на два центра заготовка сохраняет возможность вращения вокруг оси центров, поэтому в ряде случаев необходимо дополнительное базирование по упорам или с помощью других устройств. На рис. 23, б дана схема установки в центрах с боковым упором для фрезерования основания корпуса.

При установке заготовок в центрах происходят контактные деформации в местах сопряжения центровых отверстий с центрами. Смещения заготовки в поперечном и осевом направлениях выражаются параболическими зависимостями от величины приложенной радиальной или осевой силы:

$$y = C_p \sqrt{F_p}; \quad x = C_o \sqrt{F_o},$$

где  $y$  – поперечное (радиальное) смещение, в мкм;  $x$  – продольное (осевое) смещение, в мкм;  $C_p$ ,  $C_o$  – эмпирические постоянные соответственно для радиального и осевого смещений;  $F_p$ ,  $F_o$  – соответственно радиальная и осевая силы, в Н.



Коэффициенты  $C_p$ ,  $C_o$  для заготовок из сталей 40 и 45, при давлении на поверхности контакта до 80 МПа имеют значения, приведенные в табл. 9 ( $D$  – наружный диаметр центрального гнезда).

Таблица 9

**Значения эмпирических постоянных для определения радиального и осевого смещений установленной в центрах заготовки**

$D$ , мм	1	2	2,5	4	5	6	7,5	10	12,5	15	20	30
$C_p$	5	3,7	2,7	1,8	1,2	1,0	0,9	0,7	0,5	0,4	0,3	0,2
$C_o$	3,8	2,7	2,1	1,3	0,9	0,8	0,7	0,5	0,4	0,3	0,25	0,17

### 3.10. Установка заготовок на три и четыре центральных гнезда

Полную ориентацию заготовки можно обеспечить установкой ее на три центра, два из которых жесткие и один выдвижной, выполняющий роль зажимного элемента приспособления. Преимущество этой схемы установки – возможность соблюдения постоянства баз. Недостаток схемы – необходимо выдерживать точную глубину центральных гнезд: при большей глубине правого гнезда между ним и центром возникает зазор, и заготовка может покачиваться относительно оси двух других центров. При малой глубине правого гнезда контакт центров (левых на рис. 24, *a*) происходит не по всем базовым поверхностям конусов, а по образующим. Если допуск на глубину правого гнезда равен  $\delta$ , то угол качания  $\gamma$  заготовки относительно оси  $O-O_1$  определяется по формуле

$$\gamma \approx \text{tg} \gamma = \delta / l \cdot \text{ctg} 30^\circ \approx 0,577 \cdot \delta / l,$$

где  $l$  – расстояние между осью левых центров и точкой контакта правого центра с заготовкой.

Если глубина левого гнезда переменна, то возможны перекося заготовки и кромочное касание гнезд с центрами, что снижает жесткость установки.

При установке заготовки на четыре центра (рис. 24, *б*), два из которых постоянные, а два выдвижные, обеспечивается более жесткое крепление. Жесткость установки менее чувствительна к изменению глубины центральных гнезд, так как зазоры во всех случаях выбираются поджимом нижних центров. Однако при переменной глубине гнезд возможны их кромочные касания с центрами и перекося заготовки.

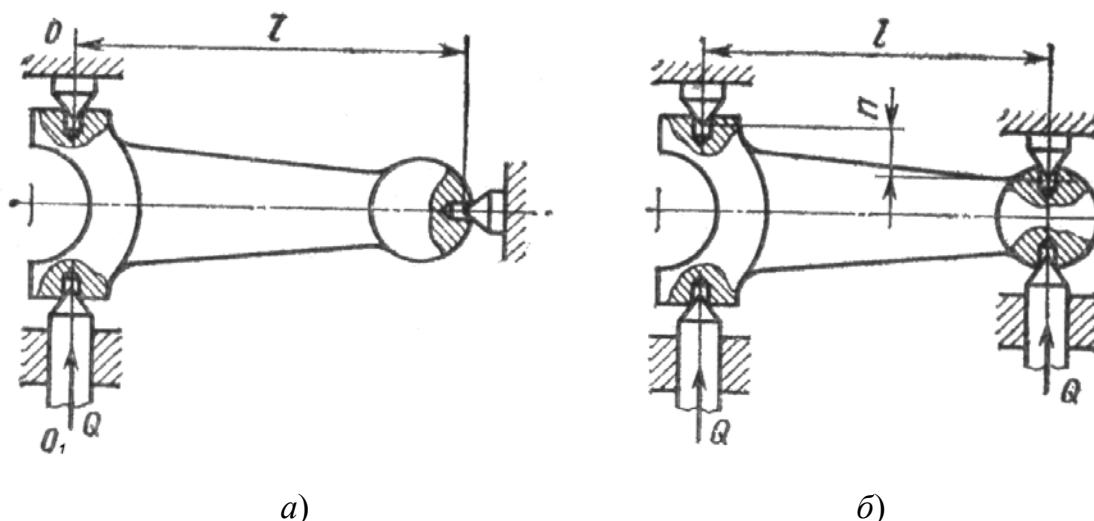


Рис. 24. Установки на три (а) и четыре центра (б)

Поэтому взаимные положения поверхностей заготовок, обработанных на разных операциях, будут отличаться тем больше, чем больше допуски и фактические отклонения в параметрах точности используемых приспособлений и поступающих заготовок на этих операциях. Различие размеров  $l$  и  $n$  в приспособлениях повлечет нестабильность положения заготовок по вертикали и перекос. Поэтому к заготовкам и к точности изготовления таких приспособлений должны предъявляться повышенные требования.

### 3.11. Установка на плоскость и отверстие с осью, параллельной плоскости

В таких установках выдерживаемые параметры точности обычно заданы в прямоугольной системе координат. В первом комплекте баз скрытая направляющая или опорная база проходит по оси базового отверстия. По оси длинного базового отверстия может располагаться направляющая база, а по оси короткого – опорная. Материализацию этих баз в приспособлениях выполняют применением ромбических пальцев, срезанных со стороны расположения установочной базы (рис. 25, а), чтобы отклонения реальной поверхности базового отверстия, с одной стороны, не отрывали заготовку от установочной базы, а с другой стороны, позволяли бы производить свободную установку на палец.

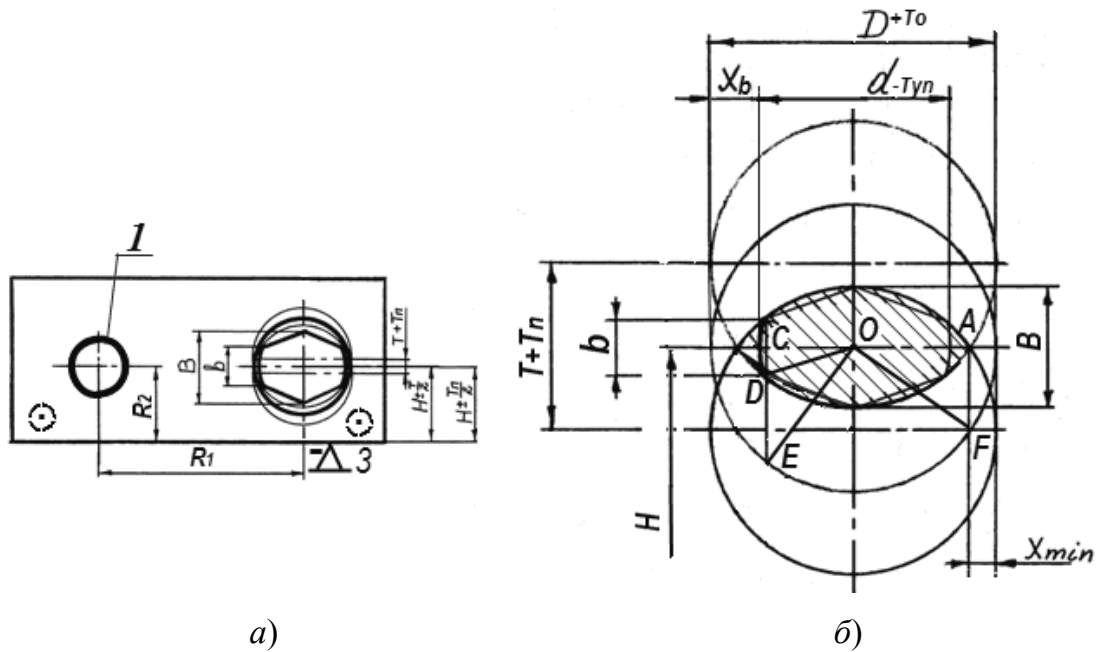


Рис. 25. Установка на плоскость и отверстие, параллельное установочной базе

Пусть требуется обработать отверстие  $I$ , выдерживая размеры от нижней плоскости ( $R_2$ ) и ( $R_1$ ) от оси уже обработанного отверстия, принятой за скрытую упорную базу. Тогда установочный ромбический палец для упорной базы располагается большей диагональю параллельно установочной плоскости.

При этом погрешность базирования для размера  $R_2$  будет равна нулю

$$\varepsilon_{\delta R_2} = 0.$$

Для размера  $R_1$  при установке на ромбический палец с зазором погрешность базирования принимается равной величине наибольшего диаметрального зазора ( $z_{\max}$ ) в сопряжении базового отверстия с пальцем

$$\varepsilon_{\delta R_1} = z_{\max} = D_{\max} - d_{\min}, \quad (3.9)$$

где  $D_{\max}$  – наибольший диаметр базового отверстия;  $d_{\min}$  – наименьший диаметр установочного пальца.

При установке на палец с зазором и односторонним прижимом заготовки к пальцу погрешность базирования

$$\varepsilon_{\delta R_1} = T_o/2 + T_{yn}/2, \quad (3.10)$$

где  $T_o$ ,  $T_{yn}$  – соответственно допуски базового отверстия и установочного пальца.

При использовании разжимного ромбического пальца

$$\varepsilon_{6R_1} = 0. \quad (3.11)$$

Из-за отклонений реальных поверхностей заготовки и приспособления в пределах суммы допусков ( $T + T_{\text{п}}$ ) для размера  $H$  установка с обеспечением базирования по установочной плоскости возможна, если ширина ромбического пальца ( $B$ ) не выходит из заштрихованной области (рис. 25, б). Эта область является пересечением двух предельных положений базового отверстия относительно установочного пальца, симметрично отстоящих от номинального положения в пределах суммы допусков ( $T + T_{\text{п}}$ ) для размера  $H$ .

Из схемы для определения размеров ромбического пальца (рис. 25, б) видно, что размеры ромбического пальца зависят от допусков ( $T + T_{\text{п}}$ ) для размера  $H$

$$B \leq D_{\min} - (T + T_{\text{п}}), \quad (3.12)$$

где  $B$  – ширина ромбического пальца;  $D_{\min}$  – наименьший предельный диаметр базового отверстия;  $T$  – допуск на размер  $H$  в заготовке;  $T_{\text{п}}$  – допуск на размер  $H$  в приспособлении.

Наименьший радиальный зазор ( $x_{\min}$ ) в сопряжении ромбического пальца, обеспечивающий беспрепятственную установку заготовки, определяется из прямоугольного треугольника  $OAF$ :

$$x_{\min} = OF - AO = D_{\min}/2 - AO; \quad AO^2 = (D_{\min}/2)^2 - ((T + T_{\text{п}})/2)^2;$$

$$x_{\min} = \frac{1}{2} \left( D_{\min} - \sqrt{D_{\min}^2 - (T + T_{\text{п}})^2} \right). \quad (3.13)$$

Наименьший диаметральный зазор ( $z_{\min}$ ) в сопряжении ромбического пальца, обеспечивающий беспрепятственную установку заготовки при отсутствии ленточки ( $b = 0$ ), равен:

$$z_{\min} = 2 \cdot x_{\min} = D_{\min} - \sqrt{D_{\min}^2 - (T + T_{\text{п}})^2}; \quad (3.14)$$

$$z_{\min} = D_{\min} - d_{\max}. \quad (3.15)$$

При наличии на установочном пальце цилиндрического участка (ленточки) шириной  $b$  уменьшается его износ при эксплуатации, но увеличивается радиальный зазор ( $x_b$ ) до величины  $x_b = (D_{\min} - d_{\max})/2 = OE - OD$  из  $\triangle ODE$ . Из треугольника  $\triangle OCD$

$OD = d_{\max}/2 = \sqrt{OC^2 + (b/2)^2}$ . Из треугольника  $\Delta OCE$   $OC^2 = OE^2 - CE^2 = (D_{\min}/2)^2 - ((b + T + T_{\Pi})/2)^2$ .

$$x_b = \frac{1}{2} \left( D_{\min} - \sqrt{D_{\min}^2 - (b + T + T_{\Pi})^2 + b^2} \right). \quad (3.16)$$

Наименьший диаметральный зазор ( $z_{b\min}$ ) в сопряжении отверстия и пальца с шириной ленточки  $b$ , определяемый через наименьший радиальный зазор  $x_b$ :

$$z_{b\min} = 2 \cdot x_b = D_{\min} - \sqrt{D_{\min}^2 - (b + T + T_{\Pi})^2 + b^2}. \quad (3.17)$$

Из формул (3.15) и (3.17) выводится формула максимально допустимой ширины ленточки

$$b = \frac{D_{\min}^2 - d_{\max}^2 - 2 \cdot T \cdot T_{\Pi} - T^2 - T_{\Pi}^2}{2(T + T_{\Pi})}. \quad (3.18)$$

Так как наибольший и наименьший зазоры в сопряжении отверстия с пальцем связаны зависимостью

$$z_{\max} = z_{\min} + T_o + T_{\text{уп}}, \quad (3.19)$$

то расчет размеров установочного ромбического пальца должен производиться как с учетом возможности обеспечения точности выдерживаемых параметров, так и с учетом беспрепятственной установки заготовки на базовую плоскость.

Применение данной схемы установки требует определения для установочного пальца диаметра  $d$ , допуска на него  $T_{\text{уп}}$ , допуска  $T_{\Pi}$  на размер  $H$  в приспособлении. Этот расчет следует выполнять в такой последовательности:

1) по качеству допуска базового отверстия назначают качество (на единицу меньше качества отверстия) и допуск размера установочного пальца  $T_{\text{уп}}$ ;

2) по допуску на размер  $H$  заготовки назначают допуск на размер расположения установочного пальца  $H$  в приспособлении (примерно  $T_{\Pi} = (0,1-0,5) \cdot T$ );

3) по формуле (3.14) (при  $b = 0$ ) определяют наименьший зазор в сопряжении, обеспечивающий беспрепятственную установку заготовки без нарушения ее базирования по плоскости;

4) по формуле (3.15) определяют наибольший допустимый диаметр установочного пальца  $d_{\max}$ ;

5) по формуле (3.19) определяют наибольший зазор в сопряжении базового отверстия с ромбическим пальцем;

6) по формуле (3.9) определяют величину погрешности базирования при установке с зазором на жесткий палец (при  $b = 0$ ); если погрешность базирования будет больше половины допуска ( $T_{R_1}$ ) на выдерживаемый размер  $R_1$ , то от этой схемы установки следует отказаться и принять установку с односторонним прижимом или установку на разжимной палец. Если погрешность базирования будет меньше половины допуска на выдерживаемый размер  $R_1$ , то, приняв  $\varepsilon_{bR_1} = T_{R_1} / 2 = z_{\max}$  по формуле (3.9), определяют  $d_{\min} = D_{\max} - T_{R_1} / 2$ , далее  $d_{\max} = d_{\min} + T_{\text{уп}}$ , а по формуле (3.18) определяют допустимую ширину ленточки  $b$ .

При расчете размеров ромбического пальца для установки с односторонним прижимом или на разжимной ромбический палец первые два пункта приведенной выше последовательности остаются такими же. Далее для уменьшения износа установочной поверхности ромбического пальца назначают ширину ленточки ( $b = (1-10)$  мм), и по формуле (3.17) определяют соответствующий минимальный диаметральный зазор сопряжения. Затем по формуле (3.15) определяют наибольший диаметр  $d_{\max}$  установочного пальца, который позволит произвести беспрепятственную установку заготовки.

### **3.12. Установка заготовки на плоскость и два отверстия, перпендикулярных к ней**

В этой установке можно выделить скрытые базы первого и второго комплектов баз (см. табл. 3, схема № 7). Применяют при обработке деталей типа корпусов, плит, рам. Базовую плоскость подвергают чистовой обработке. Базовые отверстия в заготовке обрабатывают с точностью по седьмому качеству. Установочными элементами служат опорные пластины и два жестких пальца (цилиндрический и ромбический), два разжимных пальца или два выдвижных конических пальца. Выдвижные установочные пальцы применяют при автоматизированной обработке заготовок и для установки приспособлений-спутников.

Чтобы избежать заклинивания заготовок в сопряжениях жестких пальцев с базовыми отверстиями, один палец выполняют цилиндрическим, а другой ромбическим с большей диагональю, перпендикулярной прямой, соединяющей оси пальцев.

При обработке на операциях с этой схемой установки заготовки могут обрабатывать с пяти сторон с выдерживанием большого количества параметров точности, заданных в конструкторских системах координат, как в прямоугольной, так и в полярной. Например, на рис. 26 расположение отверстий 1 и 2 задано в прямоугольной системе координат, а отверстия 3 в полярной. За начало технологической системы координат удобно выбрать ось цилиндрического пальца. Направление силы закрепления следует задавать перпендикулярно установочной плоскости для устранения погрешностей закрепления для размеров, параллельных установочной плоскости.

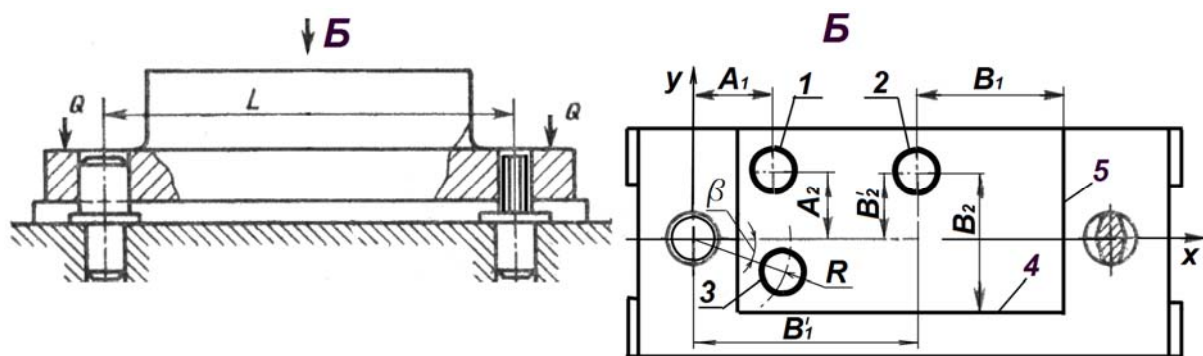


Рис. 26. Установка заготовки на плоскость и два отверстия

Погрешности базирования для выдерживаемых параметров точности можно определить как суммы двух составляющих

$$\bar{\varepsilon}_{\delta i} = \bar{\varepsilon}_{\delta 1 i} + \bar{\varepsilon}_{\delta 2 i}. \quad (3.20)$$

Первая составляющая погрешности базирования  $\varepsilon_{\delta 1 i}$  появляется из-за несовпадения конструкторских и технологических систем координат, т. е. она возникает у всех параметров точности, не связанных с осью базового отверстия под цилиндрический палец на чертеже детали или эскизе обработки. На рис. 26 эта составляющая погрешности базирования появится при обработке отверстия 2 у размеров  $B_1$ ,  $B_2$ . Чтобы исключить первую составляющую погрешности базирования для размеров  $B_1$ ,  $B_2$ , нужно произвести перенастройку (при первоначальной настройке от оси цилиндрического пальца) инструмента при обработке отверстия 2 от поверхностей заготовки (4, 5), совпадающих с конструкторскими базами для этих размеров. Любые перенастройки инструмента усложняют процесс обработки, поэтому для обработки отверстия 2 без перенастройки необходимо произвести расчет размеров  $B'_1$ ,  $B'_2$  и допусков для них, заданных от оси отверстия под цилин-

дрический палец, с использованием технологических размерных цепей поступающей заготовки.

Вторая составляющая погрешности базирования  $\varepsilon_{\delta 2i}$  появляется из-за конструкции приспособления, не обеспечивающей совмещение конструкторской и технологической баз (оси базового отверстия и оси цилиндрического пальца). От этой составляющей погрешности базирования можно избавиться путем использования разжимных или подвижных конических пальцев. Но это усложняет конструкцию приспособления и на практике, в основном, заготовки устанавливают на цилиндрический и ромбический пальцы с зазорами. Наличие этих зазоров вызывает появление смещений в виде поворотов и сдвигов заготовок в пределах зазоров между базовыми отверстиями и пальцами.

В проектных расчетах точности установки принимают наибольшие из возможных смещений устанавливаемых заготовок:

– для  $i$ -го обрабатываемого элемента (отверстие, плоскость, паз и т. п.) погрешности базирования для параметров точности, заданных в прямоугольной системе координат по оси  $x$ :

$$\varepsilon_{\delta xi} = \max \left\{ z_{цmax} + |y_i| \cdot z_{pmax} / L; \alpha \cdot |y_i| \right\}, \quad (3.21)$$

где  $z_{цmax}$  – наибольший зазор в сопряжении базового отверстия с цилиндрическим пальцем;  $z_{pmax}$  – наибольший зазор базового отверстия с ромбическим пальцем;  $L$  – размер между осями пальцев;  $y_i$  – ордината наиболее удаленной точки  $i$ -й обрабатываемой поверхности от оси  $x$ ;  $\alpha$  – наибольший угол поворота заготовки за счет зазоров в радианах (рис. 27):

$$\alpha = \arctg(z_{цmax} + z_{pmax}) / L \approx \tg\alpha = (z_{цmax} + z_{pmax}) / L. \quad (3.22)$$

Погрешности базирования по оси  $y$ :

$$\varepsilon_{\delta yi} = \max \left\{ z_{цmax} + \gamma \cdot x_i; \alpha \cdot |x'_i| \right\}, \quad (3.23)$$

где  $\gamma$  – угол поворота заготовки при наибольших сдвигах заготовки по вертикали за счет зазоров в радианах:

$$\gamma = \arctg \left( |z_{цmax} - z_{pmax}| / L \right) \approx \tg\gamma = |z_{цmax} - z_{pmax}| / L, \quad (3.24)$$

$x_i$  – абсцисса наиболее удаленной точки от оси  $y$   $i$ -й обрабатываемой поверхности;  $x'_i = x_i - A$  – расстояние по оси  $x$  наиболее удаленной точки  $i$ -й обрабатываемой поверхности от центра вращения заготовки  $O$



(см. рис. 27);  $A$  – расстояние от центра вращения  $O$  до оси цилиндрического пальца:

$$A = z_{ц\max} \cdot L / (z_{ц\max} + z_{р\max}). \quad (3.25)$$

Для параметров точности, заданных в полярной системе координат, погрешности базирования при установке на пальцы с зазорами:

– для линейных  $\varepsilon_{\delta Ri} = z_{ц\max}; \quad (3.26)$

– для угловых  $\varepsilon_{\delta \beta i} = \alpha; \quad (3.27)$

при установке на пальцы разжимные или выдвигные конические:

– для линейных  $\varepsilon_{\delta Ri} = 0; \quad (3.28)$

– для угловых  $\varepsilon_{\delta \beta i} = 0. \quad (3.29)$

Из формул (3.21)–(3.27) видно, что вторые составляющие погрешностей базирования зависят от зазоров в сопряжениях базовых отверстий с пальцами и размера  $L$  между их осями. Если в пределах размера  $L$   $\varepsilon_{\delta 2i}$  не превысит значения  $z_{ц\max}$  или  $z_{р\max}$ , то для координат точек, выходящих за пределы  $L$ , погрешности могут быть больше величин  $z_{ц\max}$ ,  $z_{р\max}$ . Для повышения точности обработки установочные пальцы размещают на возможно большем расстоянии друг от друга (для прямоугольных заготовок базовые отверстия располагают на концах диагонали установочной плоскости).

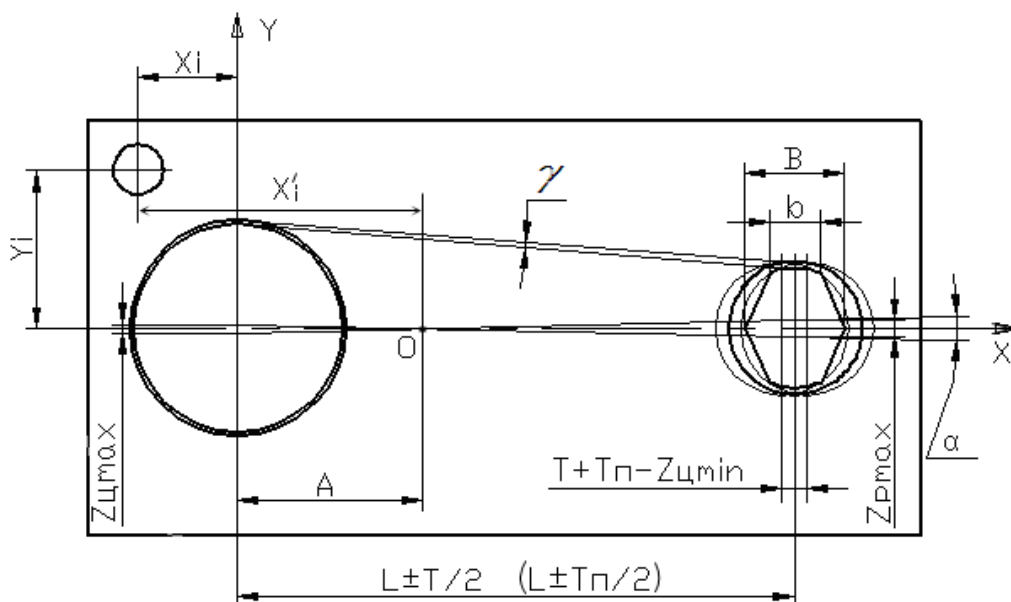


Рис. 27. Схема поворота заготовки в пределах зазоров

### 3.13. Расчет размеров установочных пальцев при установке заготовки на плоскость и два базовых отверстия

Выбор номинальных диаметров и точность установочных пальцев следует определять расчетом с учетом:

1) размеров и допусков базовых отверстий заготовки. Отверстия могут быть конструктивными или технологическими, сделанными для базирования по ним. Размеры пальцев для технологических отверстий зависят от массы заготовки, размеры принимают по табл. 10;

2) минимальных зазоров в сопряжениях пальцев с базовыми отверстиями, обеспечивающих свободную установку заготовки, и которые следует определять по максимальным зазорам, зависящим от допустимых погрешностей базирования для параметров точности, выдерживаемых при обработке.

Таблица 10

Диаметры пальцев цилиндрического ( $d_{ц}$ ) и ромбического ( $d_{р}$ )

Масса, кг	5	15	45	120	>120
$d_{ц}, d_{р}$ , мм	6	10	12	16	20

На практике для сопряжений базовых отверстий с установочными пальцами принимают посадки H7/g6, H7/f6, H8/f7, H9/d8, но они не гарантируют правильную установку, так как номинальные размеры ромбических пальцев должны быть рассчитаны с учетом необходимой точности и возможности свободной установки-снятия заготовки.

Поэтому расчет наибольшего диаметра  $d_{р\max}$  ромбического пальца, его ширины  $B$ , ленточки  $b$  следует производить по: наименьшему диаметру  $D_{р\min}$  отверстия, сопрягающегося с ромбическим пальцем; допуску  $T$  на размер между осями базовых отверстий в заготовке; допуску  $T_{п}$  на размер между осями установочных пальцев; наименьшему зазору  $Z_{ц\min}$  в сопряжении отверстия с цилиндрическим пальцем.

Гарантированная установка возможна, если ромбический палец не выходит из заштрихованной области на рис. 28. Эта область является пересечением крайних положений базового отверстия, сопрягаемого с ромбическим пальцем, в пределах  $(T + T_{п} - Z_{ц\min})$ . Ширина ромбического пальца

$$B \leq D_{р\min} - (T + T_{п} - Z_{ц\min}). \quad (3.30)$$

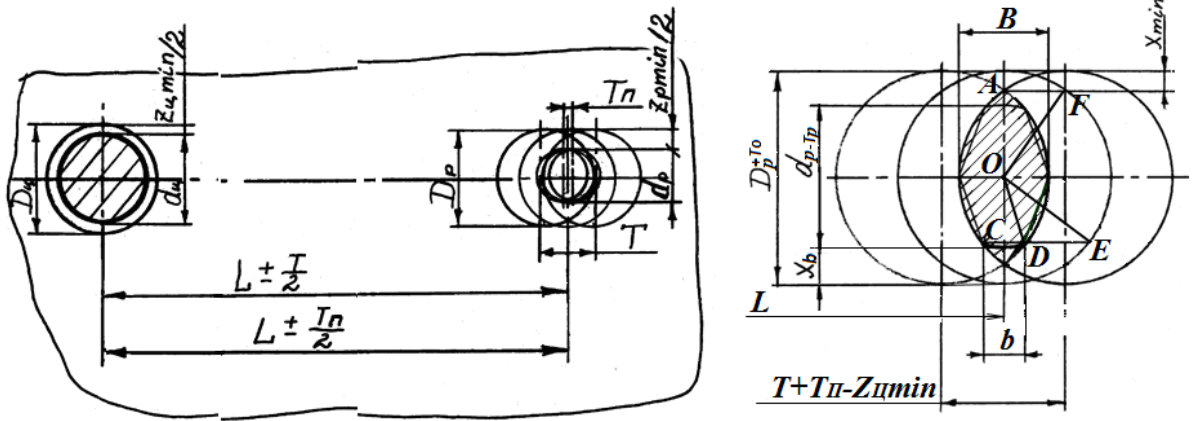


Рис. 28. Схема для расчета размеров ромбического пальца

Минимальный диаметральный зазор в сопряжении ромбического пальца, обеспечивающий беспрепятственную установку заготовки на пальцы при  $b = 0$ , определяется через наименьший радиальный зазор  $x_{min}$  из треугольника  $OAF$ :

$$x_{min} = OF - AO = D_{p\ min}/2 - AO;$$

$$AO^2 = (D_{p\ min}/2)^2 - ((T + T_n - Z_{ц\ min})/2)^2;$$

$$Z_{p\ min} = 2 \cdot x_{min} = D_{p\ min} - \sqrt{D_{p\ min}^2 - (T + T_n - Z_{ц\ min})^2}. \quad (3.31)$$

При наличии ленточки шириной  $b$  значительно сокращается износ ромбического пальца, но увеличивается минимальный радиальный зазор с  $x_{min}$  до  $x_b$ . При этом минимальный диаметральный зазор, обеспечивающий беспрепятственную установку заготовки на пальцы, определяется через наименьший радиальный зазор  $x_b$  из треугольников  $OCD$  и  $OCE$ :

$$x_b = OE - OD = D_{p\ min}/2 - d_{p\ max}/2;$$

$$OD = d_{p\ max} / 2 = \sqrt{OC^2 + (b/2)^2};$$

$$OC^2 = OE^2 - CE^2 = (D_{p\ min}/2)^2 - ((b + T + T_n - Z_{ц\ min})/2)^2;$$

$$Z_{p\ min} = 2 \cdot x_b = D_{p\ min} - \sqrt{D_{p\ min}^2 - (b + T + T_n - Z_{ц\ min})^2} + b^2. \quad (3.32)$$

Наибольший размер ромбического пальца

$$d_{p \max} = D_{p \min} - Z_{p \min}; \quad (3.33)$$

$$Z_{p \max} = Z_{p \min} + T_o + T_p, \quad (3.34)$$

где  $T_o$  – допуск базового отверстия;  $T_p$  – допуск ромбического пальца.

Формула ширины ленточки  $b$  выводится из формул (3.32) и (3.33):

$$b = \frac{D_{p \min}^2 - d_{p \max}^2 - 2 \cdot (T \cdot T_{\Pi} - T \cdot Z_{ц \min} - T_{\Pi} \cdot Z_{ц \min}) - T^2 - T_{\Pi}^2 - Z_{ц \min}^2}{2 \cdot (T + T_{\Pi} - Z_{ц \min})}, \quad (3.35)$$

при отрицательных значениях  $b$  установка невозможна.

При  $Z_{ц \min} \geq (T + T_{\Pi})$  установка возможна на два цилиндрических пальца, тогда принимают

$$b = B = d_{p \max} = D_{p \min} - (0,01-0,03),$$

где (0,01–0,03) – зазор для свободного сопряжения отверстия с пальцем, мм.

При расчете размеров ромбического пальца его следует выполнять в такой последовательности:

1) по качеству допуска базового отверстия назначают качество (на единицу меньше качества отверстия) и допуск размера установочного пальца;

2) по допуску на размер  $L$  заготовки назначают допуск на размер расположения установочных пальцев  $L$  в приспособлении (примерно  $T_{\Pi} = (0,1-0,5) \cdot T$ );

3) по формуле (3.30) определяют ширину ромбического пальца;

4) для лимитирующего параметра точности, выдерживаемого при обработке на операции, определяют допустимую величину погрешности базирования при установке на плоскость и два пальца с зазором. Если погрешность базирования будет больше половины допуска на выдерживаемый параметр, то от этой схемы установки следует отказаться и принять установку с односторонним прижимом или установку на разжимные или выдвижные конические пальцы. Если погрешность базирования будет меньше половины допуска на выдерживаемый лимитирующий параметр точности, то для проектного расчета следует принять

$$Z_{p \max} = [\varepsilon_{блпт}] = T_{лпт} / 2,$$

где  $[\varepsilon_{блпт}]$  – допустимая погрешность базирования лимитирующего параметра точности;  $T_{лпт}$  – допуск лимитирующего параметра точности;

5) по формуле (3.34) определяют наименьший зазор в сопряжении базового отверстия с ромбическим пальцем;

6) по формуле (3.33) определяют наибольший диаметр установочного ромбического пальца;

7) по формуле (3.35) определяют допустимую ширину ленточки  $b$ .

При расчете размеров ромбического пальца для установки с односторонним прижимом или на разжимной ромбический палец первые два пункта приведенной выше последовательности остаются такими же. Далее для уменьшения износа ромбического пальца назначают ширину ленточки ( $b = (1-10)$  мм), и по формуле (3.32) определяют соответствующий минимальный диаметральный зазор сопряжения. Затем по формуле (3.33) определяют наибольший диаметр установочного пальца, который позволит произвести беспрепятственную установку заготовки.

### **3.14. Установка заготовки на плоскость и три отверстия, перпендикулярных к ней**

Применяется при обработке корпусных заготовок на автоматических линиях. Установочными элементами служат пластины и три ромбических пальца. Базовые отверстия обрабатываются по H7. Схема установки удобна для выдерживания параметров точности, заданных в прямоугольной системе координат (использует первый комплект баз). По сравнению с установкой на два пальца при этой установке более легкая посадка заготовки на пальцы. Центр поворота заготовки  $O$  расположен на направляющей базе.

За технологическую систему координат удобно принять ось  $X$  – проходящую через оси пальцев, обеспечивающую направляющую (скрытую) базу, за ось  $Y$  – перпендикуляр к оси  $X$ , проходящий через ось пальца с меньшим зазором на направляющей базе. Обычно для технологических отверстий зазоры сопряжений пальцев с отверстиями равны между собой, но при разных диаметрах конструктивных базовых отверстий могут быть разными. Погрешности базирования будут определяться значениями наибольших зазоров в сопряжениях отверстий с пальцами.

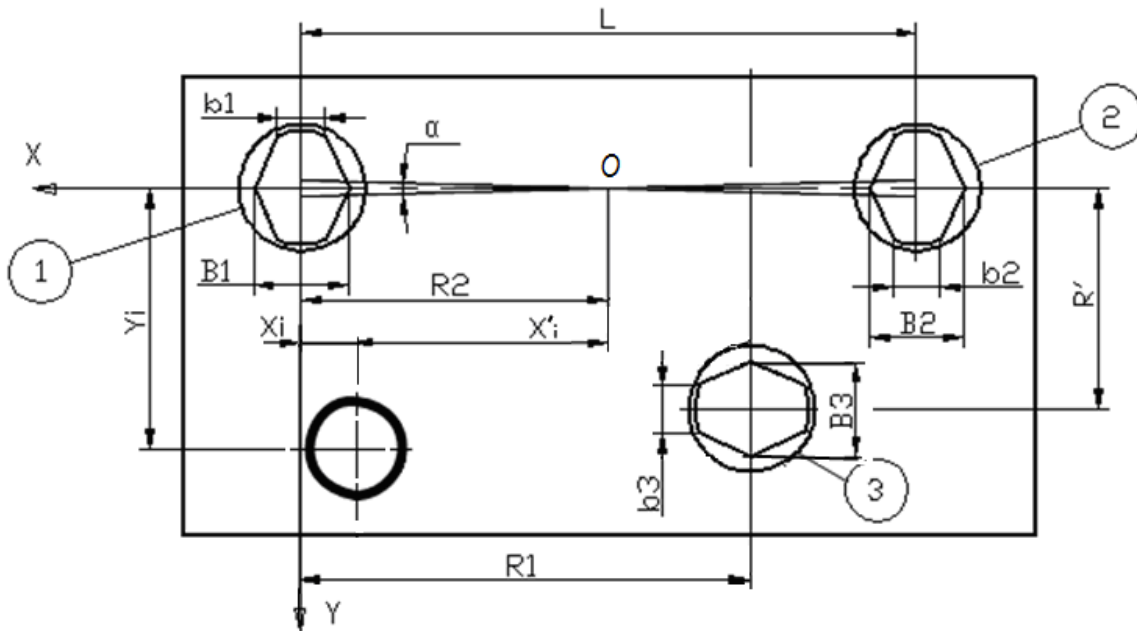


Рис. 29. Установка на плоскость и три отверстия

Для схемы установки, представленной на рис. 29, для параметров точности, заданных параллельно оси  $X$  погрешности базирования, определяют

$$\varepsilon_{\bar{0}xi} = z_3 + \alpha \cdot |y_i|, \quad (3.36)$$

где  $z_3$  – наибольший зазор в сопряжении палец-отверстие 3;  $|y_i|$  – модуль максимальной ординаты  $i$ -й обрабатываемой поверхности;  $\alpha$  – наибольший угол поворота заготовки в пределах зазоров между отверстиями и пальцами в радианах:

$$\alpha = \min\{(z_1 + z_2)/L; z_3/R'\}, \quad (3.37)$$

$z_1, z_2$  – наибольшие зазоры в сопряжениях отверстий 1 и 2 с пальцами;  $L$  – размер между пальцами, материализующими направляющую базу;  $R'$  – расстояние от направляющей базы до оси пальца, материализующего опорную базу.

Для параметров точности, заданных параллельно оси  $Y$ , погрешности базирования определяют

$$\varepsilon_{\bar{0}yi} = \max\{z + \gamma x_i; \alpha |x'_i|\}, \quad (3.38)$$

где  $z$  – меньший из двух максимальных зазоров в сопряжениях, материализующих направляющую базу  $z = \min\{z_1; z_2\}$ ;  $\gamma$  – угол поворота заготовки в пределах разницы зазоров в сопряжениях, материализующих направляющую базу, рад:

$$\gamma \approx |z_1 - z_2| / L;$$

$x_i$  – расстояние по оси  $X$  от оси пальца с меньшим из максимальных зазоров до наиболее удаленной точки  $i$ -й обрабатываемой поверхности (см. рис. 29 при  $z = z_1$ );  $x'_i$  – расстояние по оси  $X$  от точки поворота  $O$  до наиболее удаленной точки  $i$ -й обрабатываемой поверхности.

Расстояние по оси  $X$  от оси пальца с меньшим из максимальных зазоров до точки поворота  $O$   $R_2 = z \cdot L / (z_1 + z_2)$ .

Для уменьшения погрешностей базирования можно применять двусторонний прижим к базам (направляющей и опорной). Тогда вместо значений наибольших зазоров ( $z_1, z_2, z_3$ ) в формулах (3.36)–(3.38) должны использоваться полусуммы допусков соответствующих отверстий и пальцев.

Для полного устранения погрешностей базирования, связанных с зазорами сопряжений, следует применять пальцы разжимные или выдвижные конические, срезанные подобно ромбическим пальцам.

Недостаток схемы установки – быстрый износ ромбических пальцев и снижение точности. Размеры ромбических пальцев рассчитывают аналогично расчету при установке на два пальца.

Ширину ромбического пальца определяют по формуле

$$B_j \leq D_{j\min} - (T_i + T_{\pi i} - z_{\min}),$$

где  $D_{j\min}$  – наименьший диаметр  $j$ -го базового отверстия;  $T_i$  – допуск на размер заготовки от центра  $j$ -го базового отверстия до координатной плоскости, расположенной параллельно большей диагонали  $j$ -го ромбического пальца;  $T_{\pi i}$  – допуск на размер приспособления от центра  $j$ -го пальца до координатной плоскости, расположенной параллельно большей диагонали  $j$ -го ромбического пальца;  $z_{i\min}$  – наименьший зазор в сопряжении (сопряжениях)  $i$ -го базового отверстия с пальцем, ограничивающий перемещение заготовки вдоль малой диагонали рассматриваемого пальца.

Ширина ленточки ромбических пальцев рассчитывается по формуле

$$b_j = \frac{D_{j\min}^2 - d_{j\max}^2 - 2(T_i \cdot T_{\pi i} - T_i \cdot z_{i\min} - T_{\pi i} \cdot z_{i\min}) - T_i^2 - T_{\pi i}^2 - z_{i\min}^2}{2(T_i + T_{\pi i} - z_{i\min})},$$

где  $d_{j\max}$  – наибольший диаметр  $j$ -го ромбического пальца, определяемый допустимым наибольшим зазором в сопряжении с базовым отверстием (см. формулы (3.36)–(3.38)) и допуском на изготовление.

## ГЛАВА 4. ПРОЕКТИРОВАНИЕ СТАНОЧНЫХ ПРИСПОСОБЛЕНИЙ

### 4.1. Этапы проектирования станочного приспособления

Проектирование – процесс, характеризующийся наличием многих вариантов решений, из которых желательно выбрать оптимальное с технической и экономической точек зрения. Чтобы достичь оптимальности, иногда приходится рассматривать несколько решений, сравнивать их и выбирать лучшее.

Определенная стандартами ЕСКД последовательность разработки конструкторских документов обеспечивает достижение оптимального решения по этапам.

Вначале разрабатывают, согласовывают и утверждают в установленном порядке *техническое задание* (ТЗ) на проектирование. Это задание конструктор получает от технолога, проектирующего техпроцесс механической обработки.

ТЗ устанавливает назначение, требования к конструкции приспособления и следующие исходные данные:

- параметры точности, выдерживаемые при обработке на оснащаемой операции, указанные на операционном эскизе;
- форма и параметры точности баз (промежуточные размеры, допуски и т. п.) заготовки, поступающей на оснащаемую операцию;
- схема установки и обоснование ее применения;
- применяемый инструмент, станок;
- режимы обработки, силы резания, основное время;
- способ установки и закрепления заготовки;
- проектная норма времени на оснащаемую операцию;
- тип приспособления (одно- или многоместное);
- рекомендуемая стандартная система приспособлений.

По результатам анализа ТЗ конструктор в архивах, справочниках, альбомах конструкций подбирает аналоги (конструкции с аналогичным назначением), из них выбирает прототип (конструкцию с наиболее близким назначением) и составляет *техническое предложение* (ТП), в котором должны быть в наибольшей степени учтены требования и указания, содержащиеся в ТЗ.

После рассмотрения и утверждения ТП конструктор разрабатывает *эскизный проект* (ЭП), который должен содержать принципиальные конструктивные решения, позволяющие составить общее представление об устройстве и принципе действия приспособления.



Утвержденный ЭП служит основанием для разработки *технического проекта*, который должен содержать окончательные технические решения, дающие полное представление об устройстве приспособления и исходные данные для разработки *рабочей документации* (РД). К РД относятся: сборочные чертежи, рабочие чертежи деталей, *пояснительная записка* (ПЗ) и др.

ПЗ должна содержать следующие разделы: введение, техническая характеристика, расчеты, ожидаемые технико-экономические показатели и уровень нормализации, стандартизации, унификации.

Во введении указывают назначение приспособления и содержатся документы, на основании которых разработан технический проект (ТЗ, ТП, ЭП).

В разделе «Техническая характеристика» приводят описание и обоснование выбранной конструкции приспособления, технические параметры его работы.

В разделе «Расчеты» производят обоснование принятой схемы установки, расчетные параметры точности для установочных и направляющих элементов, определение необходимого усилия закрепления, выбор типа и параметров привода, прочностные расчеты деталей, являющихся «слабыми звеньями». В случаях проектирования автоматизированных приспособлений и приспособлений-автоматов часто выполняют кинематические и динамические расчеты.

В разделе «Ожидаемые технико-экономические показатели» производят расчеты затрат на изготовление и экономии от применения либо нескольких вариантов вновь разрабатываемых приспособлений, либо одного нового в сравнении с приспособлением, применявшимся ранее на данной операции.

В разделе «Уровень стандартизации, нормализации или унификации» определяют в % степень использования в разработанной конструкции стандартизованных деталей и сборочных единиц.

## **4.2. Этапы конструирования приспособления**

Конструктор, начиная с этапа ТП, подвергает тщательному изучению операционный эскиз, поступающую заготовку, оснащаемый станок, способ подвода режущего инструмента и СОЖ, средства обеспечения установки и снятия детали, удаления стружки. Учитываются размеры деталей и планируемая производительность обработки, содержание операции и режимы резания, положение станочника

относительно приспособления и оборудования, экономически целесообразная стандартная система приспособлений.

Изучается рабочий чертеж детали, размеры, взаимное расположение базовых и обрабатываемых поверхностей, требования к точности и шероховатости после обработки.

В процессе анализа операционного эскиза выделяют поверхности, подлежащие обработке, технологические базы и поверхности под закрепление (рис. 30, а).

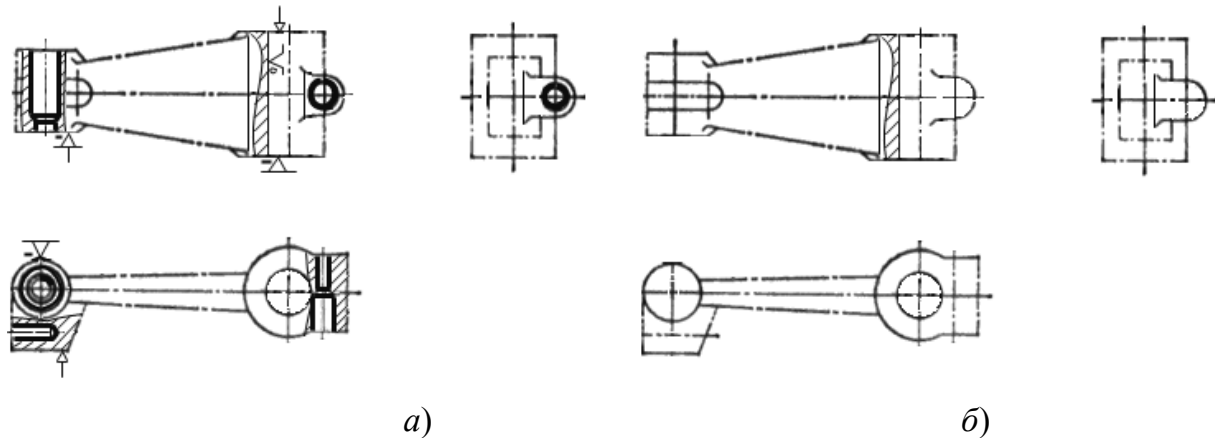


Рис. 30. Эскизы: а – операционный эскиз со схемой установки; б – эскиз поступающей заготовки

Конструктор на этапах эскизного и технического проектирования вначале в тонких линиях на главном виде изображает поступающую заготовку в положении обработки на выбранном станке (рис. 30, б). В зависимости от сложности ЭП относительно главного вида располагают дополнительные виды. Затем последовательно выполняют:

1. *Конструирование установочных элементов* (рис. 31, а). Решения этого этапа зависят от требуемой точности обработки на оснащаемой операции. В соответствии с принятой на операционном эскизе схемой установки (рис. 30, а) определяют комплект баз для выполняемых параметров точности, технологические явные и скрытые базы и способы их материализации. При анализе технологических баз принимают решения о типах, размерах, пространственном расположении и параметрах точности установочных элементов приспособления. Располагают установочные элементы в контакте с явными технологическими базами поступающей заготовки.

2. *Конструирование направляющих элементов* (рис. 31, б). Выбор типовых направляющих элементов для режущего инструмента (установы для фрезерования, кондукторные втулки для сверления) произво-

дят в зависимости от обработки, указанной на операционном эскизе. Расположение направляющих элементов вокруг видов поступающей заготовки производят напротив обрабатываемых поверхностей заготовки с учетом применяемых элементов настройки для автоматического получения требуемых параметров точности обрабатываемых поверхностей на настроенном станке, потому что эти элементы задают траекторию режущих инструментов.

### 3. *Конструирование зажимных элементов* (рис. 32, а).

Тип и размеры зажимных элементов определяют при анализе схемы установки, формы и размеров поверхностей поступающей заготовки, назначенных для ее закрепления, после расчета необходимого усилия закрепления. Предпочтителен выбор стандартных конструкций зажимных элементов и устройств.

Исходя из времени на закрепление-открепление заготовки, типа приспособления (одно- или многоместное), силы закрепления, выбирают тип зажимного устройства и привода и определяют его основные размеры. Расположение зажимных элементов и устройств начинают от точек контакта с поверхностями, назначенными под зажим, до привода. Размещение элементов зажимных устройств производят по цепочке от заготовки к приводу с согласованием их размеров и положения с ранее изображенными элементами приспособления.

4. *Конструирование корпуса* (рис. 32, б). Этот этап конструирования производят при завершении разработки неразборного специального приспособления (НСП) или наладки для универсально наладочного (УНП) и специализированного наладочного приспособлений (СНП). Конструкция корпуса в целом должна объединять все функциональные элементы, иметь достаточную жесткость, предотвращающую потери точности при обработке заготовки.

При конструировании наладок к УНП или СНП конструирование зажимных элементов и устройств обычно не выполняют, так как они, как правило, присутствуют в базовом агрегате. Выбор базового агрегата для приспособлений из систем УНП или СНП и согласование размеров присоединительных элементов наладок с базовым агрегатом выполняют на завершающем этапе конструирования.

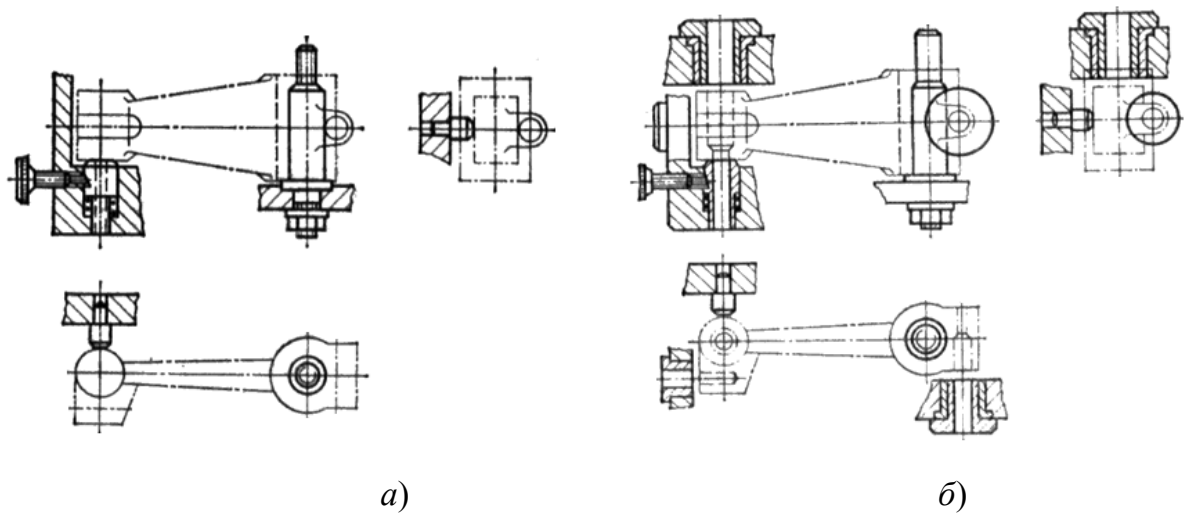


Рис. 31. Конструирование функциональных элементов:  
*а* – установочных; *б* – направляющих

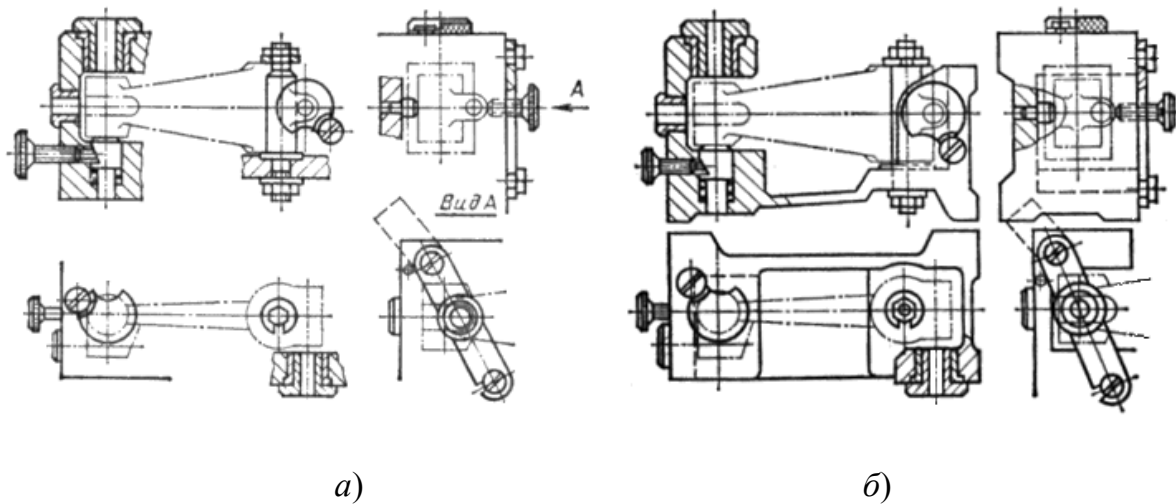


Рис. 32. Конструирование: *а* – зажимных элементов;  
*б* – корпуса приспособления

Процесс конструирования приспособления состоит из последовательного выбора и соединения его элементов. Конструкция приспособления создается постепенно по мере конструирования групп функциональных элементов. При этом на этапах конструирования каждой очередной функциональной группы элементов производят согласование их размеров и расположения с решениями, полученными на более ранних стадиях для обеспечения заданных точности, производительности и экономичности приспособления. Размещение элементов, установление взаимосвязи между ними и выбор рационального соединения их при оформлении корпуса следует производить с обеспечением высокой надежности по показателям безотказности,

долговечности, ремонтпригодности, эргономичности. Органы управления должны быть немногочисленными и располагаться в одном месте.

Общие виды приспособлений вычерчивают в масштабе 1 : 1 (за исключением особо крупных или мелких деталей). На главном виде указывают габаритные размеры приспособления, размеры, присоединительные к станку, расчетные параметры, которые нужно выдерживать при его сборке и отладке. Здесь же приводится нумерация сборочных единиц, деталей, стандартных изделий для спецификации и технические условия на его сборку. В них указывают необходимую точность сборки приспособления, требования к его регулировке и отладке, методы проверки при установке на станок, отделку и маркировку.

### **4.3. Принципы конструирования приспособлений**

1. Соблюдать предпочтительные размеры конструкций:

– основные координирующие размеры расположения унифицированных конструктивных элементов рекомендуется принимать из ряда, близкого к Ra10: 20, 25, 30 (32), 40, 50, 60 (63), 80, 100, 120 (125), 160, 200, 240 (250), 320, 400; 500; 630; 800; 1000;

– *размеры приспособлений* следует принимать из ряда Ra20: 1; 1,1; 1,2–2,2 (через 0,2); 2,5; 2,8; 3,2; 3,6; 4; 4,5; 5; 5,6; 6,3; 7,1; 8–11 (через 1); 12–22 (через 2); 25; 28; 32; 36; 40; 45; 50; 56; 63; 71; 80–110 (через 10); 125; 140–220 (через 20); 250; 280; 320; 360; 400; 450; 500; 560; 630; 710; 800; 900, 1000;

– *дополнительные размеры* в обоснованных случаях допускается принимать из ряда Ra40: 1; 1,05; 1,1; 1,15; 1,2–2,2 (через 0,1); 2,4; 2,5; 2,6–4,2 (через 0,2); 4,5; 4,8; 5; 5,3; 5,6; 6; 6,3; 6,7; 7,1; 7,5–12 (через 0,5); 13–22 (через 1); 24–42 (через 2); 45; 48; 50; 53; 56; 60; 63; 67; 71; 75–130 (через 5); 140–260 (через 10); 280–420 (через 20); 450; 480; 500; 530; 560; 600; 630; 670; 710; 750; 800; 850; 900; 950; 1000.

2. Последовательно соблюдать принципы агрегатирования, типизации, унификации и стандартизации в разрабатываемых конструкциях.

3. Разрабатывать НСП для выполнения одной операции в строго обоснованных случаях.

4. Конструировать больше универсальных наладочных, специализированных наладочных приспособлений, универсально-сборных или сборно-разборных приспособлений из стандартных узлов и дета-

лей. Применение оригинальных узлов, деталей следует производить в порядке исключения, а необходимость их применения доказывать.

5. Не конструировать приспособления до тех пор, пока не осуществлен поиск аналогов конструкций в архивах, справочниках, альбомах.

6. Стремиться к предельной простоте конструкций приспособлений. Любое усложнение необходимо обосновать.

7. Высокую прочность и жесткость конструкций следует достигать способами, не требующими увеличения ее массы (применение коробчатых конструкций, продольных и диагональных связей и др.).

8. Стремиться обеспечить хорошую защиту конструкций приспособлений от загрязнения, скопления стружки, а также доступ при ремонте и осмотре.

9. Конструировать приспособления с расчетом на длительную безремонтную эксплуатацию при максимальной производительности за счет правильного выбора материалов, термообработки, системы смазки. Стремиться к удешевлению конструкций, но не в ущерб качеству (экономить дефицитные материалы, применять заменители и рациональные заготовки).

10. Совершенствовать конструкции на базе постоянного изучения их состояний при эксплуатации, опыта конструирования и патентных материалов.

## ГЛАВА 5. ТОЧНОСТЬ ПРИСПОСОБЛЕНИЙ

### 5.1. Структура погрешности приспособления

Погрешность приспособления  $\varepsilon_{\text{пр}i}$  для  $i$ -го выдерживаемого на операции параметра точности (погрешность положения заготовки из-за погрешностей изготовления приспособления) не должна превышать 1/3–1/10 его допуска. Она определяется погрешностями изготовления и сборки его установочных элементов  $\varepsilon_{\text{уэ}i}$ ; износом этих элементов  $\varepsilon_{\text{и}i}$  в процессе эксплуатации; погрешностями установки приспособления на станке  $\varepsilon_{\text{с}i}$ , погрешностями перекоса инструмента в направляющих элементах  $\varepsilon_{\text{п}i}$ :

$$\bar{\varepsilon}_{\text{пр}i} = \bar{\varepsilon}_{\text{уэ}} + \bar{\varepsilon}_{\text{и}i} + \bar{\varepsilon}_{\text{с}i} + \bar{\varepsilon}_{\text{п}i}. \quad (5.1)$$

Погрешности установочных элементов  $\varepsilon_{\text{уэ}i}$  вызываются неточностями изготовления и положения установочных элементов. При ис-

пользовании одного приспособления для получения одного параметра точности  $\varepsilon_{yэi}$  может рассматриваться как систематическая постоянная погрешность, которую частично или полностью можно устранить настройкой станка. Однако при использовании нескольких одинаковых приспособлений (приспособления-дублиеры) эта величина уже не компенсируется настройкой станков и полностью входит в состав  $\varepsilon_{приi}$  для  $i$ -го параметра точности в партии обработанных заготовок.

Для поворотных многопозиционных приспособлений в  $\varepsilon_{yэi}$  входит погрешность фиксации поворота  $\varepsilon_{фп}$  приспособления на обрабатываемом переходе. Технологические возможности изготовления приспособлений обеспечивают  $\varepsilon_{yэ}$  в пределах 0–15 мкм, а для прецизионных приспособлений  $\varepsilon_{yэ} = 0–10$  мкм.

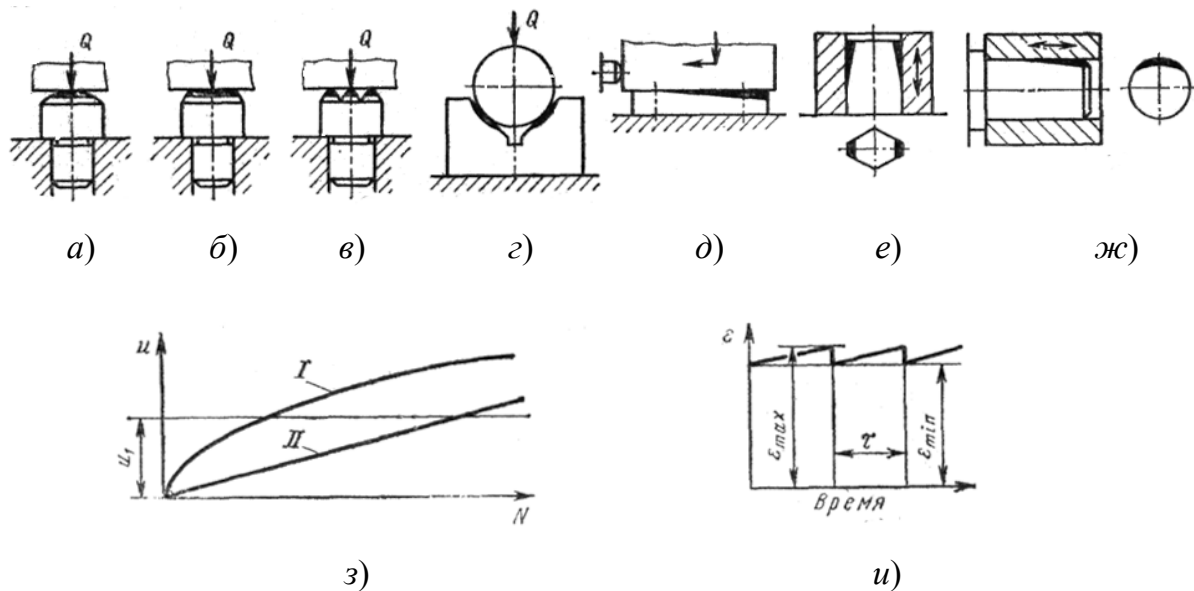


Рис. 33. Влияние износа на постоянные опоры

Погрешности износа  $\varepsilon_{иi}$  – возникают из-за износа установочных элементов. Величина износа установочных элементов зависит от их конструкции и размеров, программы выпуска изделий (времени работы), материала, массы заготовки, состояния базовых поверхностей, условий установки и снятия.

Износ опор с малой поверхностью контакта с заготовкой происходит сначала быстро, а затем замедляется (рис. 33, з) (график I). Изнашивание опор с развитой поверхностью протекает более равномерно (график II).

Значения коэффициентов для зависимостей износа опор

$\beta_1$ вид опоры	0,5–2 <i>a</i>	0,6–2,5 <i>в</i>	0,3–0,8 <i>г</i>	0,2–0,6 <i>е</i>
$\beta_2$ вид опоры	0,4–0,8 <i>б</i>	0,002–0,004 <i>д</i>	0,001–0,002 <i>ж</i>	

Величина износа рассчитывается, мкм:

– для зависимости I  $u = \beta_1 \cdot N^n$ ;

– для зависимости II  $u = \beta_2 \cdot N$ ,

где  $N$  – число контактов заготовок с опорой;  $\beta_1, \beta_2$  – постоянные коэффициенты для зависимостей износа (табл. 11);  $n = 0,4–0,6$  – показатель степени (приблизительно  $n = 0,5$ ).

Большие значения  $\beta_1$  и  $\beta_2$  выбирают для тяжелых условий работы опор по нагрузке, пути сдвига, времени неподвижного контакта и абразивному воздействию заготовок.

Приведенные данные относятся к опорам из стали 20, 20Х, 45. Износ опор из У8А уменьшается на 10–15 %, хромированных – в 2–3 раза и наплавленных твердым сплавом – в 7–10 раз.

Износ опор ограничивается расчетной величиной  $u_1$  (рис. 33, з,  $u$ ), которую контролируют при плановой проверке приспособлений (через период времени  $\tau$ ). Если износ достигает предельно допустимой величины, производят смену опор. Поэтому  $\varepsilon_{ni} \approx 10–30$  мкм.

Погрешности установки приспособления на станке  $\varepsilon_{ci}$  возникают из-за смещения его корпуса от расчетного положения. В массовом производстве при неизменном закреплении приспособления на станке  $\varepsilon_{ci}$  доводят выверкой до определенного минимума и остаются постоянными, т. е. они могут быть частично компенсированы настройкой станка. В серийном производстве с периодической заменой приспособлений на станках величины  $\varepsilon_{ci}$  становятся некомпенсируемыми. Это же происходит в массовом производстве при использовании приспособлений-дублеров и на автоматических линиях при использовании приспособлений-спутников.

На величину  $\varepsilon_c$  дополнительно влияет износ поверхностей сопряжения при регулярной замене приспособлений. Смещения приспособления на станке уменьшают применением направляющих элементов (шпонок для пазов стола, центрирующих поясков, фиксаторов), правильным выбором зазоров в сопряжениях, а также равномерной затяж-



кой крепежных деталей. Величины  $\varepsilon_c = 10\text{--}20$  мкм являются обычными в приспособлениях. При использовании многопозиционных станков в  $\varepsilon_c$  входит погрешность индексации  $\varepsilon_{\text{инд}} = 50$  мкм на позициях обработки, тогда  $\varepsilon_c = (10\text{--}20) + \varepsilon_{\text{инд}} \approx 50$  мкм.

При наличии направляющих элементов для инструмента в состав погрешности приспособления  $\varepsilon_{\text{пр}}$  может входить погрешность перекоса инструмента  $\varepsilon_{\text{п}} = 10\text{--}20$  мкм от воздействия этих элементов.

Вышеперечисленные составляющие ( $\varepsilon_{y3}, \varepsilon_{\text{и}}, \varepsilon_c, \varepsilon_{\text{п}}$ ) погрешности приспособления  $\varepsilon_{\text{пр}}$  являются случайными векторными величинами, поэтому в общем случае  $\varepsilon_{\text{пр}}$  как сумма случайных величин определяется по формуле (5.1) или по формуле

$$\varepsilon_{\text{пр}} = t \sqrt{\lambda_1 \cdot \varepsilon_{y3}^2 + \lambda_2 \cdot \varepsilon_{\text{и}}^2 + \lambda_3 \cdot \varepsilon_c^2 + \lambda_4 \cdot \varepsilon_{\text{п}}^2}, \quad (5.2)$$

где  $t$  – аргумент функции Лапласа (интеграла вероятности), определяющий долю возможного брака; обычно  $t = 3$ ;  $\lambda_i$  – коэффициент, зависящий от закона распределения ( $\lambda_i = 1/3$  – для закона равной вероятности;  $\lambda_i = 1/6$  – для распределения Симпсона;  $\lambda_i = 1/9$  – для закона нормального распределения Гаусса).

Для конкретных условий эксплуатации приспособления формула (5.2) будет видоизменяться:

– в массовом производстве – на одной операции в приспособлении без направляющих элементов, когда  $\varepsilon_{y3}$  и  $\varepsilon_c$  компенсируются настройкой

$$\varepsilon_{\text{пр}} \approx \varepsilon_{\text{и}};$$

– для тех же условий, но при наличии в приспособлении кондукторной втулки с учетом закона равной вероятности для процесса износа установочных элементов

$$\varepsilon_{\text{пр}} = \sqrt{3 \cdot \varepsilon_{\text{и}}^2 + \varepsilon_{\text{п}}^2};$$

– на многоместном фрезерном приспособлении настройкой можно компенсировать только  $\varepsilon_c$ , поэтому с учетом кривой равной вероятности для процесса износа установочных элементов

$$\varepsilon_{\text{пр}} = \sqrt{\varepsilon_{y3}^2 + 3 \cdot \varepsilon_{\text{и}}^2};$$

– на многопозиционных станках и автоматических линиях и при использовании приспособлений-спутников

$$\varepsilon_{\text{пр}} = \sqrt{\varepsilon_{y3}^2 + 3 \cdot \varepsilon_{\text{и}}^2 + \varepsilon_{\text{с}}^2 + \varepsilon_{\text{п}}^2};$$

– в серийном производстве при периодической замене приспособлений на станке величина  $\varepsilon_{y3}$  рассматривается как постоянная систематическая и не компенсируемая настройкой станка. Например, для многоместных поворотных сверлильных приспособлений

$$\varepsilon_{\text{пр}} = \varepsilon_{y3} + \sqrt{3 \cdot \varepsilon_{\text{и}}^2 + \varepsilon_{\text{с}}^2 + \varepsilon_{\text{п}}^2}.$$

## 5.2. Определение допустимой погрешности приспособления $[\varepsilon_{\text{пр}}]$

Погрешность приспособления  $\varepsilon_{\text{пр}}$ , являясь составляющей погрешности установки, связана с суммарной погрешностью обработки  $\Delta_{\Sigma}$ , которая не должна превышать выдерживаемый допуск (параметр точности) при обработке поверхности. Поэтому при проектном расчете приспособления на точность для определения допустимой погрешности приспособления по  $i$ -му параметру точности (ПТ) можно  $\Delta_{\Sigma i}$  сравнить с соответствующим допуском ( $T_i$ ), а затем найти  $[\varepsilon_{\text{пр}i}]$ .

В настоящее время при определении  $\Delta_{\Sigma}$  пользуются следующими формулами [5], [9]:

$$\Delta_{\Sigma} = \sqrt{\Delta_y^2 + \Delta_{\text{н}}^2 + \varepsilon_6^2 + \varepsilon_3^2 + \varepsilon_{\text{пр}}^2 + 3 \cdot \Delta_{\text{и}}^2 + 3 \cdot \Delta_{\text{ст}}^2 + 3 \cdot \Delta_{\text{т}}^2 + \Sigma \Delta_{\text{ф}}} \leq T, \quad (5.3)$$

где  $\Delta_y$  – погрешность из-за упругих деформаций технологической системы при воздействии сил резания;  $\Delta_{\text{н}}$  – погрешность настройки станка;  $\varepsilon_6$  – погрешность базирования заготовки;  $\varepsilon_3$  – погрешность закрепления заготовки;  $\varepsilon_{\text{пр}}$  – погрешность приспособления;  $\Delta_{\text{и}}$  – погрешность из-за размерного износа инструмента;  $\Delta_{\text{ст}}$  – погрешность станка;  $\Delta_{\text{т}}$  – погрешность от тепловых деформаций СПИД;  $\Sigma \Delta_{\text{ф}}$  – суммарная погрешность формы обработанной поверхности, обусловленная геометрическими погрешностями станка и деформациями заготовки при обработке.

Другая распространенная формула для расчета суммарной погрешности обработки [6], [8]:

$$\Delta_{\Sigma} = K \sqrt{(K_1 \cdot \varepsilon_6)^2 + \varepsilon_3^2 + \varepsilon_{\text{пр}}^2 + (K_2 \cdot \omega)^2} \leq T, \quad (5.4)$$

где  $K = 1-1,2$  – коэффициент, учитывающий отклонения случайных величин от закона Гаусса (чем больше значимых составляющих формулы (5.4), тем ближе к 1 следует брать  $K$ );  $K_1 = 0,8-0,85$  – коэффициент, учитывающий уменьшение значения погрешности базирования при обработке на настроенных станках;  $K_2 = 0,6-0,8$  – коэффициент, учитывающий долю погрешности, вызываемую факторами, не зависящими от приспособления в  $\Delta_{\Sigma}$  ( $\Delta_y, \Delta_n, \Delta_i, \Delta_{\text{ст}}, \Delta_T, \sum \Delta_{\text{ф}}$  в формуле (5.3));  $\omega$  – значение средней экономической точности обработки.

В [12] представлена нормативная база для расчета  $\Delta_{\Sigma}$  по формулам (5.5), (5.6) в типах производства:

$$\text{– в массовом} \quad \Delta_{\Sigma} = \Delta_i + \sqrt{\Delta_c^2 + \Delta_n^2 + \varepsilon_6^2 + \varepsilon_3^2 + \varepsilon_{\text{пр}}^2} \leq T; \quad (5.5)$$

$$\text{– в серийном} \quad \Delta_{\Sigma} = \Delta_i + \Delta_n + \sqrt{\Delta_c^2 + \varepsilon_6^2 + \varepsilon_3^2 + \varepsilon_{\text{пр}}^2} \leq T, \quad (5.6)$$

где  $\Delta_i$  – погрешность из-за износа режущего инструмента;  $\Delta_c$  – случайные погрешности при обработке на станках определенной группы;  $\Delta_n$  – погрешность настройки инструмента.

Для каждой из вышеприведенных формул можно записать неравенства, которые позволят определить допустимые погрешности приспособления  $[\varepsilon_{\text{пр}i}]$ . Для формул (5.5) и (5.6):

$$[\varepsilon_{\text{пр}}] \leq \sqrt{(T_i - \Delta_i)^2 - \Delta_c^2 - \Delta_n^2 - \varepsilon_6^2 - \varepsilon_3^2}; \quad (5.7)$$

$$[\varepsilon_{\text{пр}}] \leq \sqrt{(T_i - \Delta_i - \Delta_n)^2 - \Delta_c^2 - \varepsilon_6^2 - \varepsilon_3^2}. \quad (5.8)$$

Наиболее просто допустимую погрешность приспособления  $[\varepsilon_{\text{пр}i}]$  для  $i$ -го выполняемого параметра точности определить через допустимую погрешность установки, если принять

$$[\varepsilon_i] = \sqrt{\varepsilon_{6i}^2 + \varepsilon_{3i}^2 + \varepsilon_{\text{пр}i}^2} \leq (0,2 - 0,5)T_i. \quad (5.9)$$

Тогда

$$[\varepsilon_{\text{пр}i}] \leq \sqrt{(0,04 - 0,25)T_i^2 - \varepsilon_{6i}^2 - \varepsilon_{3i}^2}. \quad (5.10)$$

Неравенства (5.7), (5.8), (5.10) позволяют определить допустимые значения погрешностей приспособления  $[\varepsilon_{\text{пр}i}]$ , которые можно распределить на составляющие, при проектировании приспособления и определении его расчетных параметров, связанных с установочными элементами, их износом, элементами, определяющими положение приспособления на станке, направляющими элементами для инструмента, так как

$$[\bar{\varepsilon}_{\text{пр}i}] = [\bar{\varepsilon}_{\text{уэ}i}] + [\bar{\varepsilon}_{\text{и}i}] + [\bar{\varepsilon}_{\text{с}i}] + [\bar{\varepsilon}_{\text{п}i}], \quad (5.11)$$

где  $[\varepsilon_{\text{уэ}i}]$  – допустимая погрешность установочных элементов;  $[\varepsilon_{\text{и}i}]$  – допустимая погрешность износа установочных элементов;  $[\varepsilon_{\text{с}i}]$  – допустимая погрешность установки приспособления на станке;  $[\varepsilon_{\text{п}i}]$  – допустимая погрешность перекоса инструмента в направляющих элементах.

Конструкция приспособления для различных параметров точности обработки  $T_i$  может изменять состав формулы (5.11).

Определение  $[\varepsilon_{\text{пр}i}]$  по формулам (5.7), (5.8) и (5.10) на этапе проектирования позволяет принять решение о возможности применения приспособления для получения выдерживаемых на оснащаемой операции параметров точности, так как их значения являются отправными точками расчетов. Формула (5.11) на этапе проектирования позволяет выделить долю допустимой  $[\varepsilon_{\text{пр}i}]$  на детали приспособления, чтобы рассчитать допуски изготовления и расположения для установочных и направляющих элементов. Таким же образом следует рассчитывать допуски взаимного расположения элементов приспособления в корпусе приспособления и допуски их расположения относительно опорных поверхностей корпуса, которыми приспособление крепится к столу, шпинделю или направляющим станка.

### **5.3. Принципы выбора схемы установки заготовки, обеспечивающие наибольшую точность при обработке**

Установка – это процесс базирования и закрепления заготовки в приспособлении. Схема установки – это схема расположения точек контакта опор с базами заготовки (схема базирования) и схема приложения усилий закрепления на поверхности, предназначенные под зажим. Погрешности, возникающие при установке  $\varepsilon_i$ , определяют

$$\bar{\varepsilon}_i = \bar{\varepsilon}_{\text{б}i} + \bar{\varepsilon}_{\text{з}i} + \bar{\varepsilon}_{\text{пр}i}. \quad (5.12)$$

В формуле (5.12) составляющие  $\varepsilon_{\delta_i}$ ,  $\varepsilon_{z_i}$  можно уменьшить или вообще исключить для некоторых выдерживаемых параметров точности при правильном выборе схемы установки заготовки в приспособлении. Для этого необходимо помнить два положения:

1) обеспечить совпадение систем координат при проектировании и изготовлении, т. е. совместить технологические базы с конструкторскими для выдерживаемых при обработке параметров точности. Это исключит погрешности базирования  $\varepsilon_{\delta_i}$  из формулы (5.12);

2) выбрать направление усилия закрепления, перпендикулярное к большинству выдерживаемых параметров точности при обработке, тогда в формуле для погрешностей закрепления

$$\varepsilon_{z_i} = (y_{\max i} - y_{\min i}) \cos \alpha_i,$$

$\cos 90^\circ = 0$  обратит погрешности закрепления для них в нуль.

Выполнение указанных двух принципов для всех параметров точности не всегда можно обеспечить, так как они могут быть заданы от различных конструкторских баз и иметь разные направления.

Даже при обработке одной плоскости, с выполнением одного размера на операционном эскизе обработки, выдерживаются допуск на размер, допуски параллельности или перпендикулярности установочной базе (или двойной направляющей), а в первом комплекте баз также допуски параллельности или перпендикулярности направляющей базе. При обработке отверстия, паза или другого элемента детали, выполняются два или три размера с допусками на них, а также допуски взаимного расположения и формы. Поэтому здесь количество параметров точности может доходить до десяти для одного обрабатываемого элемента заготовки, и выполнение для всех выдерживаемых параметров точности упомянутых принципов становится проблематичным. А если на операции обрабатывается несколько элементов, то ситуация еще более усложняется. Поэтому часто возникает необходимость в замене технологических баз, пересчете выдерживаемых параметров точности, введении перенастроек, обработке с использованием отсчетных устройств станков и в других технологических мероприятиях по обеспечению необходимой точности обработки для всех обрабатываемых элементов.

Следует также учитывать, что на операциях чистовой обработки, когда базирование производится по окончательно обработанным поверхностям (без припуска под последующую обработку), может выдерживаться небольшое количество параметров точности, но их значения должны иметь величины, не превышающие допуски, указанные на чертеже детали.

Для черновой и промежуточной обработки в зависимости от необходимого числа последующих уточнений обрабатываемых поверхностей назначают предельные промежуточные размеры и допуски, соответствующие определенным припускам на обработку, которые необходимо выдерживать на переходах механической обработки заготовки. Поэтому для этих переходов следует учитывать размеры, припуски и шероховатости баз заготовки, поступающей на оснащаемую операцию, а размеры, расположение, точность и шероховатость обрабатываемых поверхностей должны учитывать последующий техпроцесс обработки. Поэтому важнейшими данными для проектирования приспособления на операцию являются данные о заготовке, поступающей на операцию, и данные о заготовке после оснащаемой операции, которые определяются при разработке техпроцесса механической обработки детали.

Если с применением приспособления планируется обрабатывать несколько поверхностей, то указанные два принципа должны выполняться для большинства выдерживаемых параметров точности, а для остальных следует произвести предварительный расчет соответствующих погрешностей установки. Возможно, после таких расчетов придется отказаться от обработки некоторых поверхностей или применить специальные технологические мероприятия для их обработки.

#### **5.4. Последовательность расчета приспособления на точность**

При разработке конструкции приспособления часто возникают вопросы: каких размеров должен быть тот или другой элемент, как он должен располагаться по отношению к другим элементам, какую точность взаимного расположения деталей необходимо обеспечить в приспособлении, какие допуски изготовления указать на рабочих чертежах деталей и т. п. Чем больше при конструировании применяют стандартных элементов, тем меньше возникает вопросов по размерам и точности изготовления этих элементов, так как они оговорены в таблицах ГОСТов или справочников. Тогда значительная доля вопросов отпадает, но и в этом случае остаются вопросы о точности взаимного расположения для элементов приспособления.

Чтобы решить эти вопросы, следует производить расчеты по определению неизвестных размеров, допусков, посадок, т. е. расчетных параметров, задающих положение в технологической системе коор-

динат заготовки, установочных элементов, направляющих, опорных поверхностей корпуса и т. д.

Цель таких расчетов состоит в определении: размеров и допусков деталей приспособления; допусков взаимного расположения элементов на сборочном и рабочих чертежах; технических условий для изготовления, сборки и наладки приспособления.

Расчеты состоят из следующих этапов:

1) определение всех параметров точности, выдерживаемых на оснащаемой операции;

2) определение параметров точности баз поступающей заготовки, которые обеспечены предшествующей обработкой;

3) проверка допустимости принятой схемы установки для выдерживания на оснащаемой операции всех параметров точности;

4) определение допустимых погрешностей приспособления по каждому выдерживаемому параметру точности обработки;

5) выделение расчетных параметров (размеры, их допуски, допуски формы и расположения) для элементов приспособления, входящих в размерные цепи, исходными (замыкающими) звеньями для которых служат допустимые погрешности приспособления;

6) выбор способа обеспечения точности замыкающего звена (полная взаимозаменяемость, неполная, пригонка, регулировка) для каждой из размерных цепей, и решение прямой задачи для этих размерных цепей с определением допусков на составляющие звенья (на стандартные элементы – стандартные допуски, на оригинальные детали – расчетные размеры, допуски размеров, расположения и формы поверхностей);

7) внесение в технические условия сборочного чертежа приспособления пункта об обеспечении допустимых погрешностей приспособления регулировкой или обработкой в сборе по тем параметрам точности, где невозможно или экономически нецелесообразно достижение расчетных параметров для деталей по принципам полной или неполной взаимозаменяемости.

Определение параметров точности поступающей заготовки и выдерживаемых параметров точности производят по чертежу детали и операционным эскизам техпроцесса обработки.

Допустимые погрешности приспособления по каждому из выдерживаемых параметров точности определяют в результате расчетов по допустимой доле выдерживаемых параметров точности. Иногда приспособление рассчитывают по одному лимитирующему параметру точности. В этом случае за этот параметр точности принимают мень-

ший допуск. Чаще при обработке выдерживают несколько параметров точности в нескольких направлениях, поэтому производить расчеты следует по нескольким параметрам точности.

В зависимости от конкретной конструкции приспособления в качестве расчетных параметров для его деталей могут выступать:

- линейные и угловые размеры и допуски деталей;
- допуски параллельности или перпендикулярности рабочих поверхностей установочных и направляющих элементов между собой;
- допуски параллельности, перпендикулярности, соосности, симметричности, непересечения осей, биения, плоскостности, прямолинейности, позиционного допуска, наклона поверхностей и осей поверхностей, установочных и направляющих элементов относительно опорных поверхностей корпуса приспособления, посадочных или присоединительных поверхностей корпуса, по которым приспособление соединяется со столом или шпинделем станка.

### **5.5. Проверка допустимости принятой схемы установки**

При выполнении операций механической обработки должны быть выдержаны все параметры точности. Они указываются на операционном эскизе как обозначенными размерами, допусками и шероховатостью, так и не обозначенными, но обязательными для выполнения, согласно правил их изображения, назначения или определения.

Обязательное обоснование допустимости применения принятой схемы установки для всех параметров точности позволяет отказаться от обработки тех поверхностей, для которых параметры точности не будут обеспечены из-за чрезмерных погрешностей установки для них. Принципы выбора схемы установки должны выполняться для большинства параметров точности. Остальные параметры точности следует выдерживать на других операциях, с более подходящими для этого схемами установки, либо следует расширить для них допустимые интервалы фактических значений (если это возможно) после согласования новых допусков с конструктором изделия.

Схема установки, при которой не будут выдерживаться несколько, или даже один параметр точности на условии его автоматического получения на настроенном станке, не может быть принята без указаний рабочему порядка и приемов выполнения операции. Эти указания должны позволить выдержать при соответствующей квали-



фикации рабочего в заданных пределах все параметры точности методом пробных проходов и промеров.

Проверку допустимости принятой схемы установки удобно выполнять в виде табл. 12 (в мкм):

1) в первом столбце таблицы записывают все выдерживаемые параметры точности ( $T_i$ ), как указанные на операционном эскизе, так и полученные в результате выполнения технологических расчетов;

2) во втором столбце таблицы записывают погрешности базирования ( $\varepsilon_{\delta i}$ ), рассчитанные по предельным отклонениям технологических баз от конструкторских в принятой схеме установки, для рассматриваемых параметров точности;

3) в третьем столбце записывают погрешности закрепления ( $\varepsilon_{zi}$ ), рассчитанные или определенные по таблицам для рассматриваемых параметров точности в принятой схеме установки;

4) в четвертом столбце записывают средние статистические значения погрешности аналогичных приспособлений ( $\varepsilon_{\text{при}}$ ) или допустимую долю от  $\varepsilon_i$  ( $[\varepsilon_{\text{при}}]$ ).

5) рассчитывают погрешности установки ( $\varepsilon_i$ ) как векторные суммы составляющих, записывают в пятый столбец и сравнивают с допустимой долей соответствующего параметра точности.

Таблица 12

**Проверка допустимости принятой схемы установки**

$T_i$	$\varepsilon_{\delta i}$	$\varepsilon_{zi}$	$\varepsilon_{\text{при}} ([\varepsilon_{\text{при}}])$	$\varepsilon_i \leq (0,2-0,5)T_i$
-------	--------------------------	--------------------	---	-----------------------------------

Если в таблице окажутся параметры точности, для которых не выполняется неравенство  $\varepsilon_i \leq (0,2-0,5)T_i$ , назначают технологические мероприятия по их обеспечению, например, применяют обработку методом пробных проходов и промеров, меняют схему установки, либо отказываются от обработки поверхностей с этими параметрами точности на оснащаемой операции.

## **5.6. Определение расчетных параметров для элементов приспособлений**

Размеры и допуски деталей приспособления, которые влияют на выдерживаемые параметры точности обработки, должны рассчитываться и проверяться при решениях «прямой» и «обратной» задач

расчета размерных цепей. При этом используют для определения линейных и угловых размеров и середин полей их допусков формулы

$$A_{\Delta} = \sum \bar{A}_i - \sum \bar{A}_i, \quad (5.13)$$

где  $A_{\Delta}$  – линейный размер замыкающего (исходного) звена размерной цепи;  $\sum \bar{A}_i$  – сумма линейных звеньев, увеличивающих размер замыкающего звена;  $\sum \bar{A}_i$  – сумма уменьшающих звеньев;

$$\alpha_{\Delta} = \sum \bar{\alpha}_i - \sum \bar{\alpha}_i, \quad (5.14)$$

$\alpha_{\Delta}$  – угловой размер замыкающего (исходного) звена;  $\sum \bar{\alpha}_i$  – сумма увеличивающих угловых звеньев;  $\sum \bar{\alpha}_i$  – сумма уменьшающих звеньев;

$$C_{\Delta} = \sum \bar{C}_i - \sum \bar{C}_i, \quad (5.15)$$

$C_{\Delta}$  – середина поля допуска замыкающего (исходного) звена;  $\sum \bar{C}_i$  – сумма середин полей допусков увеличивающих звеньев;  $\sum \bar{C}_i$  – сумма середин полей допусков уменьшающих звеньев.

Для допусков при методах обеспечения точности замыкающего звена:

– полной взаимозаменяемости

$$T_{\Delta} = \sum T_i; \quad (5.16)$$

– неполной взаимозаменяемости при нормальном законе распределения погрешностей всех составляющих звеньев

$$T_{\Delta}^2 = \sum T_i^2; \quad (5.17)$$

– для общего случая

$$T_{\Delta}^2 = t^2 \sum \lambda_i \cdot T_i^2, \quad (5.18)$$

где  $t$  – аргумент функции Лапласа (интеграла вероятности), определяющий долю возможного брака, обычно  $t = 3$ ;  $\lambda_i$  – коэффициент, зависящий от закона распределения погрешностей  $i$ -го звена размерной цепи;

– регулировки (пригонки) величина регулировки (размер звена компенсатора)

$$T_k = \sum T_i - T_{\Delta}, \quad (5.19)$$

где  $T_{\Delta}$  – допуск замыкающего звена;  $T_i$  – допуск составляющего звена;  $T_k$  – величина регулировки (размер звена компенсатора).

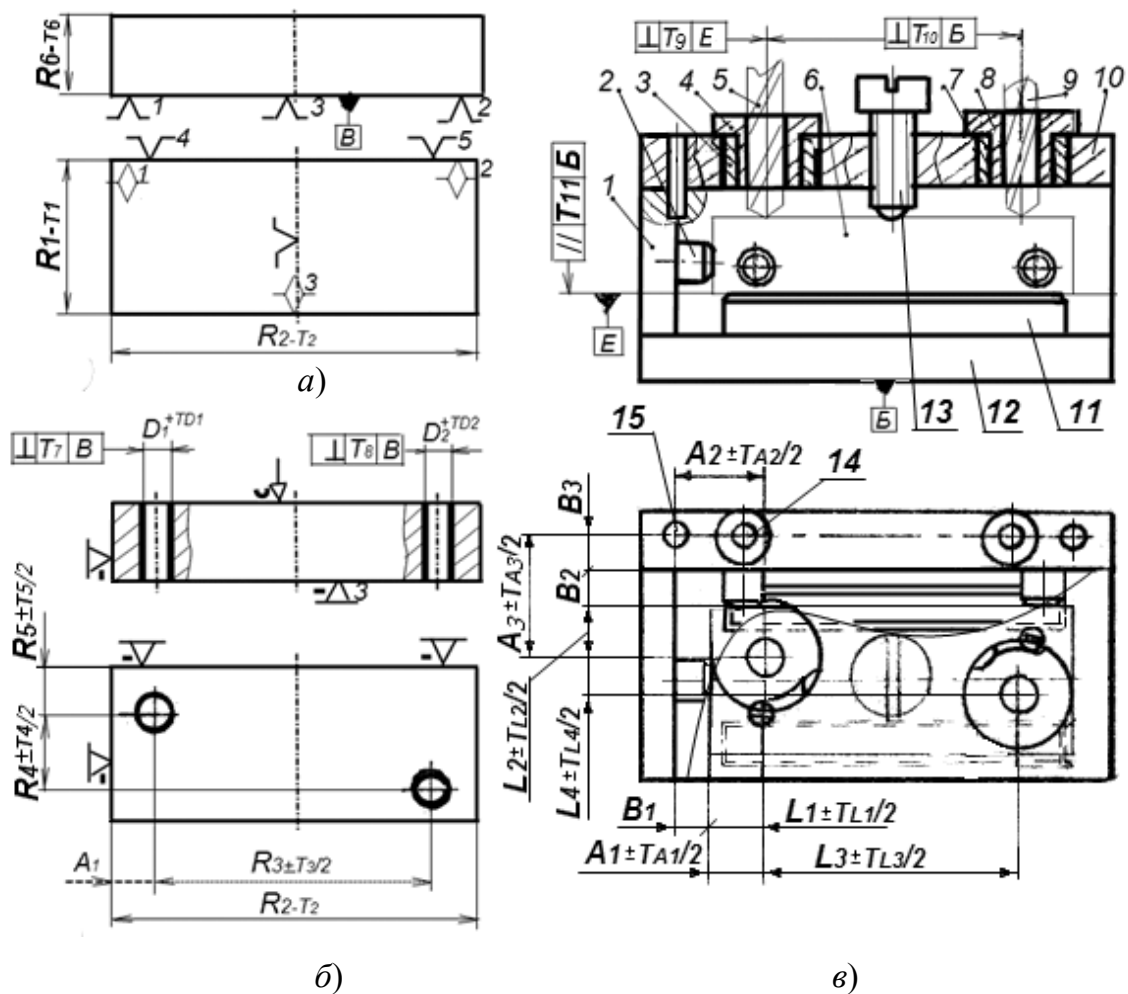


Рис. 34. Эскизы:  
 а – поступающая заготовка; б – операционный эскиз;  
 в – кондуктор с постоянной кондукторной плитой

На первом этапе решения «прямой задачи» по формулам (5.13)–(5.19), принятым допущениям, конструктивным соображениям находят допустимые значения расчетных параметров, из множества решений (так как число неизвестных больше числа формул). На втором этапе при решении «обратной задачи» происходит проверка найденных значений расчетных параметров по тем же формулам.

Часто на первом этапе в качестве допусков исходных звеньев принимают допустимые погрешности  $[\epsilon_{\text{пр}}]$  приспособления или отдельные их составляющие ( $\epsilon_{\text{уэ}}, \epsilon_c, \epsilon_{\text{п}}$ ), на которые предварительно разбивается  $[\epsilon_{\text{пр}}]$ .

Например, при конструировании кондуктора для сверления двух отверстий в поступающей заготовке с размерами  $R_1, R_2, R_6$  и соответствующими допусками ( $T_1, T_2, T_6$ ) выдерживаемыми параметрами точности обрабатываемых отверстий будут размеры  $D_1, D_2, R_3, R_4, R_5$ , допуски  $T_{D1}, T_{D2}, T_3, T_4, T_5, T_7, T_8$ . Расчетными параметрами приспособления будут: размеры  $L_1, L_2, L_3, L_4, A_2, A_3, B_1, B_2, B_3$ ; допуски линейных размеров  $T_{L1}, T_{L2}, T_{L3}, T_{L4}, T_{A2}, T_{A3}, T_{B1}, T_{B2}, T_{B3}$ ; допуски расположения  $T_9, T_{10}, T_{11}$  и т. д. При принятой схеме установки и конструкции приспособления появятся еще выдерживаемые параметры точности  $A_1, T_{A1}$ , от которых будут зависеть расчетные параметры  $L_1, T_{L1}$  в приспособлении. По формулам (5.13) и (5.16):

– для замыкающего звена  $R_3$  заготовки:

$$A_1 = (R_2 - R_3)/2; \quad T_{A1} = (T_3 - T_2)/2;$$

– для замыкающих звеньев в кондукторе:

$$L_1 = A_1; \quad T_{L1} = [\varepsilon_{\text{пр}A1}] = (0,2-0,5)T_{A1};$$

$$A_2 = L_1 + B_1; \quad T_{A2} = T_{L1} - T_{B1};$$

$$L_2 = R_5; \quad T_{L2} = (0,2-0,5)T_5;$$

$$A_3 = L_2 + B_2 + B_3; \quad T_{A3} = (0,2-0,5)T_{R5} - T_{B2} - T_{B3};$$

$$L_3 = R_3; \quad T_{L3} = (0,2-0,5)T_3.$$

## 5.7. Расчет размеров и допусков расположения кондукторных втулок

Точность сверлильных и расточных приспособлений определяется требованиями к точности обработки отверстий в деталях, для которой эти приспособления предназначены. При проектировании таких приспособлений необходимо согласовать с точностью обработки отверстий точность изготовления отверстий для кондукторных втулок относительно установочных элементов, расстояния между центрами этих втулок, зазоры между сменными и постоянными втулками, между инструментом и сменной втулкой, перпендикулярность или параллельность осей постоянных втулок базирующим поверхностям установочных элементов. Это производят при решении «прямой» и «обратной» задач расчета размерных цепей.

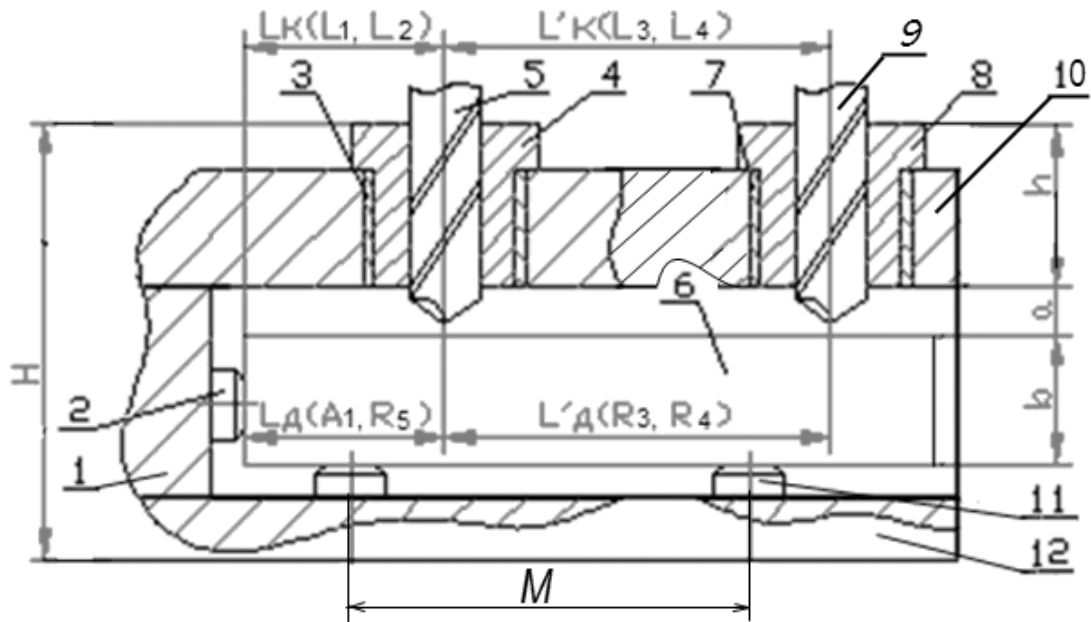


Рис. 35. Схема для расчета расположения кондукторных втулок

При расчете допусков на межцентровые расстояния кондукторных втулок и на положение кондукторных втулок относительно установочных элементов приспособления следует учитывать весь комплекс погрешностей обработки, чтобы  $\Delta_{\Sigma_i}$  по своей величине не превосходила соответствующего параметра точности обработки  $T_i$ .

Схема для расчета допусков на межцентровые расстояния кондукторных втулок показана на рис. 35 (в скобках указаны аналогичные размеры рис. 34).

Допустимая погрешность  $[\varepsilon_{\text{пр}}]$  на расстояние  $L_K$  (как допуск замыкающего звена при неполной взаимозаменяемости) между осью постоянной кондукторной втулки и боковой опорой:

$$[\varepsilon_{\text{пр}}] = T_K \geq \sqrt{S_1^2 + S_2^2 + \varepsilon_1^2 + \varepsilon_2^2 + \varepsilon_3^2 + \varepsilon_4^2}, \quad (5.20)$$

где  $[\varepsilon_{\text{пр}}]$  – допустимая погрешность приспособления на расстояние  $L_K$  между осью, запрессованной в плиту 10 втулки 3 и боковым упором 2;  $T_K$  – допуск на расстояние  $L_K$  ( $L_1, L_2$ ) между осью втулки 3 и боковым упором 2;  $S_1$  – зазор между инструментом 5 и сменной втулкой 4;  $S_2$  – зазор между сменной втулкой 4 и постоянной втулкой 3;  $\varepsilon_1 = \varepsilon_{\text{пост}} + \varepsilon_{\text{смен}} \approx 0,005$  – эксцентриситет втулок 3 и 4;  $\varepsilon_2$  – погрешность от перекося инструмента 5 во втулке 4:

$$\varepsilon_2 = (D - d) \frac{(a + b + h)}{h}, \quad (5.21)$$

где  $D$  – наибольший предельный диаметр отверстия во втулке;  $d$  – наименьший предельный диаметр инструмента;  $a$  – зазор между втулкой и заготовкой ( $a = (0,35-1)d$ );  $b$  – глубина сверления;  $h$  – длина рабочего отверстия втулки;  $\varepsilon_3$  – погрешность от неперпендикулярности оси кондукторной втулки 3 опорной поверхности установочных элементов 11:

$$\varepsilon_3 = T_{\perp} (a + b + h) / M, \quad (5.22)$$

где  $T_{\perp}$  – допуск перпендикулярности оси кондукторной втулки 3 опорной поверхности установочных элементов 11;  $M$  – расстояние между опорами;  $\varepsilon_4$  – погрешность от непараллельности установочных элементов 11 подошве корпуса 12:

$$\varepsilon_4 = T_{\parallel} (a + b + h) / M, \quad (5.23)$$

где  $T_{\parallel}$  – допуск параллельности опорной поверхности установочных элементов 11 подошве корпуса 12.

Допустимую погрешность  $[\varepsilon'_{\text{пр}}]$  (как допуск замыкающего звена при неполной взаимозаменяемости) на расстояние  $L'_k$  между кондукторными втулками 3 и 7 можно представить формулой

$$[\varepsilon'_{\text{пр}}] = T'_k \geq \sqrt{S_1^2 + S_2^2 + (S'_1)^2 + (S'_2)^2 + \varepsilon_1^2 + (\varepsilon'_1)^2 + \varepsilon_2^2 + (\varepsilon'_2)^2 + \varepsilon_3^2 + (\varepsilon'_3)^2 + \varepsilon_4^2}, \quad (5.24)$$

где  $T'_k$  – допуск на расстояние  $L'_k$  ( $L_3, L_4$ ) (рис. 34) между осями втулок 3 и 7;  $S'_1$  – зазор между инструментом 9 и втулкой 8;  $S'_2$  – зазор между сменной втулкой 8 и постоянной втулкой 7;  $\varepsilon'_1 = \varepsilon_1$  – эксцентриситет втулок 7 и 8;  $\varepsilon'_2$  – погрешность от перекоса инструмента 9 во втулке 8 (аналогичная формуле (5.21));  $\varepsilon'_3$  – погрешность от неперпендикулярности оси кондукторной втулки 7 опорной поверхности установочных элементов 11 (аналогичная формуле (5.22)).

Постоянные втулки с плитой или корпусом сопрягаются по беззазорным посадкам H7/m6; H7/n6; H7/p6. Диаметры отверстий для прохода сверл и зенкеров выполняют по посадке F7/h6, а для разверток G6/h5, G7/h6 в системе вала. Установку сменных или быстросменных кондукторных втулок в постоянные втулки выполняют по посадке H7/h6. Если быстросменные втулки подвержены интенсивному нагреву, то они сопрягаются с постоянными по посадке H7/g6. При

высокой точности расположения оси отверстия в детали (до 0,05 мм) посадку для прохода сверл в направляющей втулке назначают H7/h6. Когда инструмент направляется во втулке не рабочей частью, а цилиндрическим участком, расположенным перед или за этой частью, посадки применяются те же, но в системе отверстия.

В случаях, когда глубина отверстия меньше его диаметра или когда инструмент направляется двумя втулками, расположенными над и под заготовкой, погрешности  $\varepsilon_2$  и  $\varepsilon'_2$  незначительны (они равны допуску соосности отверстий для втулок в приспособлении) и могут не учитываться. В рассмотренном примере кондукторная плита закреплена на корпусе неподвижно и заготовка касается упора 2 без зазора (поэтому нет погрешностей – из-за отклонений положения плиты относительно заготовки). Когда плита надета на пальцы или имеет шарнирное соединение с корпусом, а также когда заготовка надета на установочный палец с зазором или касается упора базой, не совпадающей с конструкторской базой, возникающие при этом погрешности установки плиты относительно обрабатываемой заготовки должны учитываться при определении допустимой погрешности приспособления. Например, применяя формулу допустимой погрешности установки ( $\varepsilon_i \leq (0,2 - 0,5)T_i$ ) и формулу (5.20) для  $[\varepsilon_{прA_1}]$  (рис. 34, б), допуск  $T_{L_1}$  для размера  $L_1$  в кондукторе (рис. 34, в) можно определить как

$$[\varepsilon_{прA_1}] = \sqrt{(0,04 - 0,25) \cdot T_{A_1}^2 - \varepsilon_{6A_1}^2 - \varepsilon_{3A_1}^2} = \\ = T_{L_1} = \sqrt{S_1^2 - S_2^2 - \varepsilon_1^2 - \varepsilon_2^2 - \varepsilon_3^2 - \varepsilon_4^2},$$

где  $T_{A_1}$  – допуск на размер  $A_1$  в заготовке (рис. 34, б);  $\varepsilon_{6A_1} = 0$  – погрешность базирования для размера  $A_1$ ;  $\varepsilon_{3A_1} = 0$  – погрешность закрепления для размера  $A_1$ .

Значения составляющих формулы (5.20) также рассчитываются, например, погрешности от не перпендикулярности постоянной втулки опорам

$$\varepsilon_3 = \sqrt{(0,04 - 0,25) \cdot T_{A_1}^2 - \varepsilon_{6A_1}^2 - \varepsilon_{3A_1}^2 - S_1^2 - S_2^2 - \varepsilon_1^2 - \varepsilon_2^2 - \varepsilon_4^2}.$$

Рассчитанные допуски расположения кондукторных втулок, даже когда суммарная погрешность обработки ( $\Delta_\Sigma$ ) не превосходит заданный допуск детали ( $T_D$ ) ( $\Delta_\Sigma \leq T_D$ ), не всегда могут считаться кон-

трольными допусками на межцентровые расстояния при приемке изготовленного приспособления. Это объясняется технологическими возможностями изготовления и наладки приспособления. Ввиду этого в практике конструирования приспособлений приняты следующие контрольные допуски размеров, подобных  $T_k$  и  $T'_k$  на рис. 35:

– для кондукторов, предназначенных для обработки отверстий на проход для болтов и винтов, а также под резьбу, контрольные допуски на межцентровые расстояния втулок применяют в пределах от  $\pm 0,05$  до  $\pm 0,1$  мм;

– в кондукторах для обработки с многошпиндельной головкой, а также для обработки отверстий под точную сборку, например, под подшипники, для зубчатых передач и в других случаях, предъявляющих высокие требования к параллельности осей отверстий, контрольные допуски ужесточаются до  $\pm 0,02$  мм. В таких кондукторах посадки сменных втулок в постоянные выполняют по H6/h5, как и посадки для прохода инструментов, или используют конструкции, позволяющие регулировать зазоры до требуемых пределов.

## **ГЛАВА 6. СИЛОВЫЕ РАСЧЕТЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОСНАСТКИ**

### **6.1. Определение необходимого усилия закрепления заготовки**

Определение усилий зажима, необходимых для надежного закрепления, исключающего вибрации и смещения заготовки относительно установочных элементов при обработке, является основой для установления конструктивных параметров зажимных механизмов (ЗМ) приспособлений. Расчет сил закрепления заготовки и ЗМ выполняют в следующем порядке:

1. Выбирают оптимальную схему установки. При этом определяют места расположения и размеры установочных и зажимных элементов приспособления.

2. Составляют схему действия сил на заготовку, в которой указывают места приложения и направления действия зажимных сил, сил резания и их моментов, реакций от установочных элементов и сил трения. Места приложения сил закрепления выбирают исходя из наибольшей жесткости, устойчивости крепления и минимальной деформации заготовки. По найденным (заданным) режимам резания опре-



деляют величины, направления и места приложения сил резания для наиболее неблагоприятного случая, требующего наибольших усилий закрепления. Силы зажима и резания следует направлять на опоры. Силы трения направляют против направления возможного перемещения заготовки от сдвигающих сил для наиболее неблагоприятного случая их действия. Силы трения равны произведению нормальных проекций реакций или сил закрепления на соответствующие коэффициенты трения (табл. 13).

Таблица 13

**Коэффициенты трения ( $f$ ) между заготовкой, опорами и зажимными элементами приспособлений**

Условия трения	$f$
При контакте обработанных поверхностей заготовки с опорами и зажимными элементами	0,1–0,16
При контакте необработанных заготовок со сферическими опорами и при больших силах воздействия	0,2–0,25
При контакте заготовки с рифлеными опорами	0,7
При закреплении в патронах с губками:	
– гладкими	0,16–0,18
– с кольцевыми канавками	0,3–0,4
– с взаимно перпендикулярными канавками	0,4–0,5
– с острыми рифлениями	0,7–1,0

3. На составленной схеме действия сил на заготовку изображают стрелками все приложенные к ней силы, стремящиеся сдвинуть или повернуть заготовку в приспособлении (силы резания и их моменты) и удерживающие ее силы (зажимные, трения и реакции опор) и размеры для точек приложения действующих сил относительно системы координат. В некоторых случаях (заготовки крупногабаритные, быстро вращающиеся с изменением направления движения) следует учитывать объемные силы – массу и силу инерции заготовки.

4. Из общего случая – шести уравнений статики (6.1), задающих условия неподвижности заготовки при обработке, выбирают те, которые применимы к рассматриваемому случаю и решают систему линейных уравнений относительно неизвестных искомых величин – расчетных сил закрепления ( $W_i$ ):

$$\begin{cases} \sum Px_i = 0; \\ \sum Py_i = 0; \\ \sum Pz_i = 0; \\ \sum Mx_i = 0; \\ \sum My_i = 0; \\ \sum Mz_i = 0. \end{cases} \quad (6.1)$$

Если схема действия сил на заготовку допускает составление нескольких систем линейных уравнений, то в качестве решения принимают наибольшие значения расчетных сил закрепления  $W_i$ .

5. Для учета возможного увеличения сил и моментов резания определяют необходимое значение коэффициента запаса закрепления  $K$ . Величина  $K$  рассчитывается дифференцированно с учетом конкретных условий обработки и закрепления заготовки по формуле

$$K = k_0 \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot k_5 \cdot k_6,$$

где  $k_0 = 1,5$  – гарантированный коэффициент запаса;  $k_1$  – коэффициент, учитывающий увеличение сил резания из-за случайных неровностей на заготовке. При чистовой и отделочной  $k_1 = 1$ , при черновой обработке  $k_1 = 1,2$ ;  $k_2$  – коэффициент, учитывающий увеличение сил резания из-за затупления режущего инструмента  $k_2 = 1-1,8$  (табл. 14);  $k_3$  – учитывает увеличение сил при прерывистом резании (при фрезеровании или точении поверхности с разрывами  $k_3 = 1,2$ ), если резание не является прерывистым  $k_3 = 1$ ;  $k_4$  – учитывает постоянство силы закрепления, развиваемой зажимным механизмом. Для ЗМ с ручным приводом  $k_4 = 1,3$ . Если на силу закрепления влияют отклонения размеров заготовки, что имеет место при использовании пневмокамер, пневморычажных систем, зажимов с упругими элементами (мембранных, гидропластовых и др.), с пневмо- и гидроцилиндрами одностороннего действия  $k_4 = 1,2$ . При использовании пневматических, гидравлических, пневмогидравлических приводов двустороннего действия, магнитных, вакуумных и других  $k_4 = 1$ ;  $k_5$  – характеризует эргономику ручных ЗМ, при удобном расположении рукоятки и малом угле ее поворота  $k_5 = 1$ , при неудобном расположении рукоятки и угле ее поворота более  $90^\circ$   $k_5 = 1,2$ ;  $k_6$  – учитывают только при наличии моментов, стремящихся повернуть заготовку, установленную плоской поверхностью. При установке заготовки плоской поверхно-

стью на точечные опоры расположение точек контакта постоянное (и известное) и  $k_6 = 1$ . Если заготовка установлена на опорные пластины, шайбы или плоскость, то точки контакта расположены неопределенно и  $k_6 = 1,5$ .

При установке заготовки реальной плоскостью на плоскость, опорную шайбу или пластины приспособления (см. табл. 3, схемы № 1, 3) расположение трех опорных точек принимает условный вид (они не имеют определенного положения). Это заставляет при определении необходимого усилия закрепления принимать увеличенное в полтора раза значение частного коэффициента запаса, учитывающего неопределенность положения опор на установочной базе и реакций от них в расчетной схеме действия сил. Для схемы установки № 2 в табл. 3 использование точечных опор для реальных установочной и направляющей баз дает определенное положение реакций и сил трения от них в схеме действия сил. Поэтому для нее в расчетах соответствующий частный коэффициент запаса принимают равным единице.

**Если в результате расчета коэффициент запаса  $K$  окажется меньше двух с половиной, то принимают  $K = 2,5$ .**

Таблица 14

**Коэффициенты  $k_2$ , учитывающие затупление инструментов**

Метод обработки	Составляющие силы и моменты резания	Материал заготовки	$k_2$
Сверление	$M_{кр}$	чугун	1,15
	$P_o$		1,1
Предварительное зенкерование	$M_{кр}$		1,3
	$P_o$		1,2
Чистовое зенкерование	$M_{кр}$		1,2
	$P_o$		1,2
Предварительное точение и растачивание	$P_z$	сталь	1,0
		чугун	1,0
	$P_y$	сталь	1,4
		чугун	1,2
	$P_x$	сталь	1,6
		чугун	1,25
Чистовое точение и растачивание	$P_z$	сталь	1,0
		чугун	1,05
	$P_y$	сталь	1,05
		чугун	1,4
	$P_x$	сталь	1,0
		чугун	1,3

Метод обработки	Составляющие силы и моменты резания	Материал заготовки	$k_2$
Фрезерование цилиндрической фрезой	Окружная сила	сталь	1,6–1,8
		чугун	1,2–1,4
Фрезерование торцовой фрезой	Тангенциальная сила	сталь	1,6–1,8
		чугун	1,2–1,4
Шлифование	Окружная сила	сталь	1,15–1,2
		чугун	
Протягивание (износ по задней поверхности до 0,5 мм)	Сила протягивания	сталь чугун	1,5

6. По рассчитанным силам закрепления ( $W_i$ ) и коэффициентам запаса ( $K_i$ ) определяют необходимые усилия закрепления  $Q_i = K_i \cdot W_i$ , по которым рассчитывают привод и зажимные механизмы приспособления. Для пневматических или гидравлических приводов по цепочке от силы  $Q$  (от заготовки к штоку цилиндра) определяют силу на штоке ( $P$ ), а по ней основные размеры силовых цилиндров (пнеumoкамер). Затем выбирают привод с ближайшими большими стандартными размерами силовых агрегатов и значениями развиваемой силы  $P^*$ . Установление необходимого минимально-допустимого зажимного усилия особенно важно при использовании пневматических, гидравлических и других механизированных приводов, так как от него зависят габариты, масса и стоимость зажимных устройств. Зажимные устройства следует проектировать с максимальным использованием стандартных деталей и сборочных единиц.

7. По известной силе привода  $P^*$  с учетом передаточных отношений зажимного устройства пересчитывают силу ( $Q^*$ ), передаваемую на заготовку, и сравнивают с необходимой для расчета ЗМ силой  $Q$ . Если  $Q^* \geq Q$ , расчет привода завершают.

## 6.2. Пример определения необходимого усилия закрепления заготовки при сверлении

Операционный эскиз является основой для определения схемы сил, действующих на заготовку при обработке. Обычно на операционном эскизе указано расположение условно изображенных установочных и зажимных элементов, как на рис. 36, а. Конструктор приспособления должен детально разработать схему установки с указанием расположения установочных и зажимных элементов для расчетной

схемы сил, действующих на заготовку, и последующего определения необходимых сил закрепления ( $Q_i$ ).

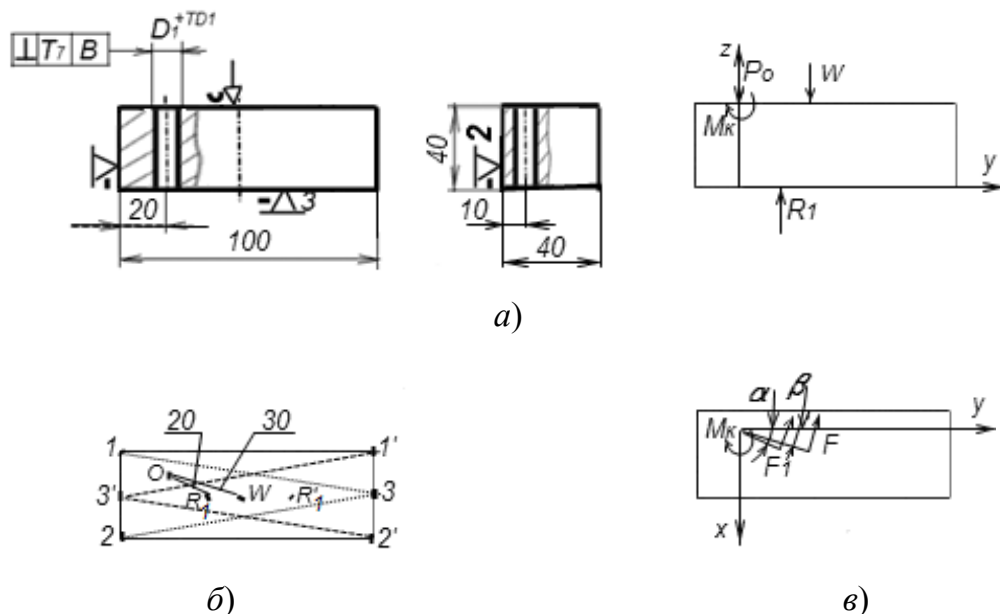


Рис. 36. Разработка схемы действия сил на заготовку при сверлении

Рассмотрим три случая такой разработки.

1. При контакте установочной базы с плоскостью или опорными пластинами расположение трех опорных точек этой базы будет случайным, как и расположение равнодействующей реакции  $R_1$ . При расположении трех опорных точек по краям установочной базы (рис. 36, б), принятое положение равнодействующей реакций  $R_1$  находится в центре тяжести опорного треугольника  $123$ , на расстоянии примерно 20 мм (можно определять при графических построениях) от точки сверления  $O$ . Расположение равнодействующей  $R'_1$  (для треугольника  $1'2'3'$ ) на расстоянии примерно 50 мм. Наиболее неблагоприятным для противодействия крутящему моменту, сдвигающему заготовку при сверлении, из двух рассмотренных будет случай расположения  $R_1$ .

Если не учитывать действие реакций от опор на направляющей и опорной базах, а расположение силы закрепления принять в центре тяжести заготовки, то схема сил будет выглядеть, как на рис. 36, в. На ней два неизвестных  $W$  и  $R_1$ , поэтому определение расчетной силы закрепления  $W$  сводится к решению системы из двух линейных уравнений. При осевой силе  $P_o = 1000$  Н; крутящем моменте  $M_{кр} = 4000$  Н · мм; коэффициенте трения для зажимного элемента со сферической рабочей поверхностью  $f = 0,2$ ; коэффициенте трения на установочной плоскости  $f_1 = 0,1$ .

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum M_{iz} = 0; \\ \sum P_{iz} = 0; \end{array} \right. \left\{ \begin{array}{l} 20 \cdot R_1 \cdot f_1 + W \cdot f \cdot 30 - M_{кр} = 0; \\ R_1 - W - P_0 = 0; \end{array} \right. \left\{ \begin{array}{l} 2 \cdot R_1 + 6 \cdot W - 4000 = 0 (:2); \\ R_1 - W - 1000 = 0; \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} R_1 + 3 \cdot W = 2000 \\ R_1 - W = 1000 \end{array} \right. - 4 \cdot W = -1000; \quad W = 250 \text{ Н.}$$

Общий коэффициент запаса при закреплении вручную составит

$$K = k_0 \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot k_5 \cdot k_6 = 1,5 \cdot 1 \cdot 1,15 \cdot 1 \cdot 1,3 \cdot 1,2 \cdot 1,5 = 4,04.$$

Тогда необходимая сила закрепления  $Q$  составит  $Q = W \cdot K = 250 \cdot 4,04 = 1010 \text{ Н}$ .

2. При использовании точечных опор с плоской головкой для направляющей и опорной баз заготовки схема действия сил показана на рис. 37, а. Для указанного направления крутящего момента реакция  $R_4 = 0$ , так как момент «отрывает» заготовку от этой опоры. При прочих равных условиях рассмотренному ранее примеру для четырех неизвестных решаем систему из четырех линейных уравнений. При этом для действующих сил трения  $F$  и  $F_1$  под углами  $\beta$  и  $\alpha$  к оси  $y$  (рис. 36, в), после определения этих углов по размерам расположения точек контакта соответствующих сил с заготовкой относительно выбранной для схемы действия сил системы координат

$$\beta = \arcsin(10/30) = 19,47^\circ; \quad \alpha = \arcsin(10/20) = 30^\circ,$$

можно определить их проекции на оси  $x$  и  $y$ , чтобы затем учесть их действие в схеме действующих сил и в третьем и четвертом уравнениях ниже представленной системы линейных уравнений. Систему четырех линейных уравнений решаем методом Гаусса.

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum M_{iz} = 0; \\ \sum P_{iz} = 0; \\ \sum P_{iy} = 0; \\ \sum P_{ix} = 0; \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} +R_1 \cdot f_1 \cdot 20 \quad +R_2(15 + f_1 \cdot 10) \quad +R_3(10 + f_1 \cdot 20) \quad +W \cdot f \cdot 30 \quad = 4000; \\ +R_1 \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad -W \quad \quad \quad = 1000; \\ +R_1 \cdot f_1 \cdot \sin \alpha \quad -R_2 \cdot f_1 \quad \quad \quad +R_3 \quad \quad \quad +W \cdot f \cdot \sin \beta \quad = 0; \\ -R_1 \cdot f_1 \cdot \cos \alpha \quad +R_2 \quad \quad \quad +R_3 \cdot f_1 \quad \quad \quad -W \cdot f \cdot \cos \beta \quad = 0; \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} 2 \cdot R_1 + 16 \cdot R_2 + 12 \cdot R_3 + 6 \cdot W = 4000 \quad (: 2); \\ R_1 - W = 1000 \\ 0,05 \cdot R_1 - 0,1 \cdot R_2 + R_3 + 0,067 \cdot W = 0 \quad (: -0,05); \\ -0,087 \cdot R_1 + R_2 + 0,1 \cdot R_3 - 0,189 \cdot W = 0 \quad (: -0,087); \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} R_1 + 8 \cdot R_2 + 6 \cdot R_3 + 3 \cdot W = 2000; \\ R_1 - W = 1000; \\ R_1 - 2 \cdot R_2 + 20 \cdot R_3 + 1,34 \cdot W = 0; \\ R_1 - 11,49 \cdot R_2 - 1,15 \cdot R_3 + 2,17 \cdot W = 0; \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} -8 \cdot R_2 - 6 \cdot R_3 - 4 \cdot W = -1000 \quad (: -8); \\ -10 \cdot R_2 + 14 \cdot R_3 - 1,66 \cdot W = -2000 \quad (: -10); \\ -19,49 \cdot R_2 - 7,15 \cdot R_3 - 0,83 \cdot W = -2000 \quad (: -19,49); \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} R_2 + 0,75 \cdot R_3 + 0,5 \cdot W = 125; \\ R_2 - 1,4 \cdot R_3 + 0,166 \cdot W = 200; \\ R_2 + 0,37 \cdot R_3 + 0,04 \cdot W = 102,6; \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} -2,15 \cdot R_3 - 0,334 \cdot W = 75 \quad (: -2,15); \\ -0,383 \cdot R_3 - 0,458 \cdot W = -22,4 \quad (: -0,383); \end{array} \right. \quad \left\{ \begin{array}{l} R_3 + 0,155 \cdot W = -34,88; \\ R_3 + 1,195 \cdot W = 58,5; \end{array} \right.$$

$$1,04 \cdot W = 93,38; \quad W = 89,7 \text{ Н.}$$

Коэффициент запаса для этого случая действия сил на заготовку останется прежним. Но необходимая сила закрепления  $Q$  составит  $Q = W \cdot K = 89,7 \cdot 4,04 = 362 \text{ Н}$ .

3. При расстановке точечных опор на всех базах заготовки схема действия сил представлена на рис. 37, б. Реакции от точечных опор на направляющей ( $R_4$ ,  $R_5$ ) и опорной ( $R_6$ ) базах отстоят от установочной базы на расстоянии 10 мм. Примем реакции  $R_5 = 0$  и  $R_6 = 0$  для соответствующих опор, так как крутящий момент «отрывает» от них заготовку. Поэтому действие этих реакций на заготовку учитывать не следует. Силы трения, соответствующие реакциям опор установочной базы, действуют перпендикулярно прямым, соединяющим центры опор с точкой сверления (началом системы координат). По размерам

расположения опор для установочной базы определяем эти углы  $\alpha_1 = \arctg(10/(30-5))$ ;  $\alpha_2 = \arctg(5/10)$ ;  $\alpha_3 = \arctg(10/70)$ , по которым определяем соответствующие проекции сил трения на оси системы координат.

Силы трения на опорах  $R_1, R_2, R_3$  лежат в плоскости  $y$ . Разложим их по соответствующим осям:  $\bar{F}_1 = \bar{F}_{1y} + \bar{F}_{1x}$ ;  $F_{1y} = F_1 \cdot \cos \alpha_1$ ;  $F_{1x} = F_1 \cdot \sin \alpha_1$ ;  $\alpha_1 = \arctg \frac{10}{30-5} = 21,801^\circ$  и т. д. Все производные силы и моменты трения выражаются через соответствующие неизвестные  $R_i, W$  и расстояния от начала координат.

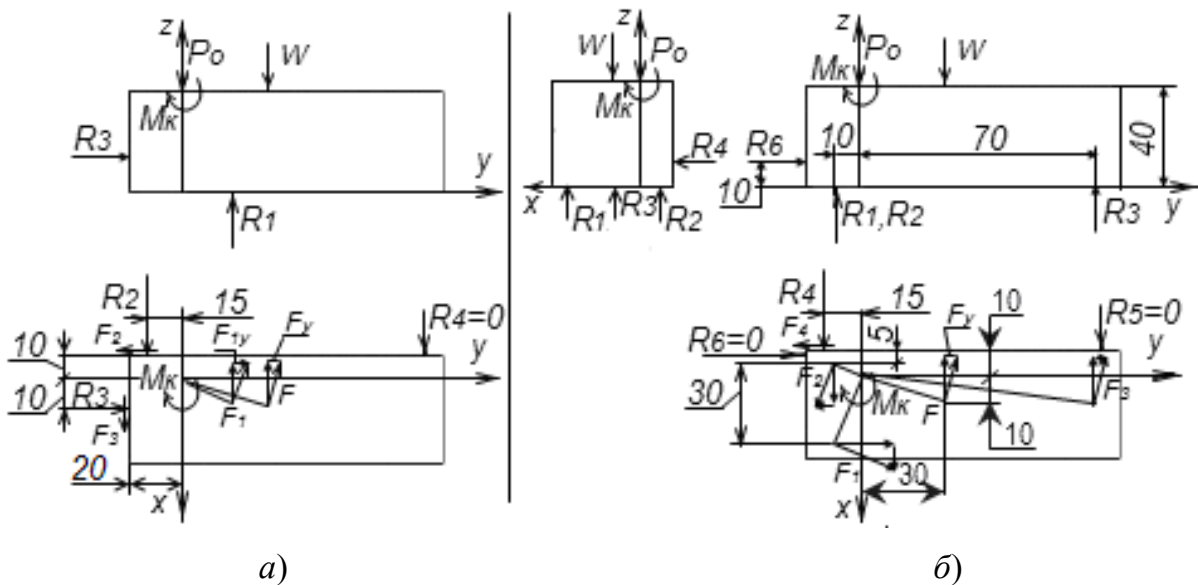


Рис. 37. Схемы действия сил на заготовку при сверлении

Направление силы трения  $F$  от зажимного элемента и ее проекции определяем с учетом расположения точки контакта с заготовкой от точки сверления (30 мм по оси  $y$ , 10 мм по оси  $x$  на схеме рис. 37, б), тогда  $\beta = \arctg(10/30)$ . Для пяти неизвестных ( $R_1, R_2, R_3, R_4, W$ ) и принятых допущениях ( $R_5 = R_6 = 0$ ) можно составить две системы линейных уравнений и получить два решения:



## Решение 1

$$\begin{cases} \sum M_{iz} = 0; \\ \sum M_{iy} = 0; \\ \sum P_{iz} = 0; \\ \sum P_{iy} = 0; \\ \sum P_{ix} = 0; \end{cases}$$

$$\begin{cases} R_1 \cdot f_1 \sqrt{25^2 + 10^2} + R_2 \cdot f_1 \sqrt{10^2 + 5^2} + R_3 \cdot f_1 \sqrt{70^2 + 10^2} + R_4(15 + f_1 \cdot 10) + W \cdot f \sqrt{30^2 + 10^2} - 4000 = 0; \\ -R_1 \cdot 25 + R_2 \cdot 5 - R_3 \cdot 10 + R_4 \cdot 10 + W(10 - f \cdot \cos(\arctg \frac{10}{30})) \cdot 40 = 0; \\ R_1 + R_2 + R_3 - W - 1000 = 0; \\ R_1 \cdot f_1 \cdot \cos 21,801^\circ - R_2 \cdot f_1 \cdot \sin(\arctg \frac{5}{10}) + R_3 \cdot f_1 \cdot \sin(\arctg \frac{10}{70}) - R_4 \cdot f_1 + W \cdot f \cdot \sin(\arctg \frac{10}{30}) = 0; \\ R_1 \cdot f_1 \cdot \sin 21,801^\circ + R_2 \cdot f_1 \cdot \cos(\arctg \frac{5}{10}) - R_3 \cdot f_1 \cdot \cos(\arctg \frac{1}{7}) + R_4 - W \cdot f \cdot \cos(\arctg \frac{1}{3}) = 0; \end{cases}$$

$$\begin{cases} 2,693 \cdot R_1 + 1,118 \cdot R_2 + 7,071 \cdot R_3 + 16 \cdot R_4 + 6,325 \cdot W = 4000; \\ -25 \cdot R_1 + 5 \cdot R_2 - 10 \cdot R_3 + 10 \cdot R_4 + 2,411 \cdot W = 0; \\ R_1 + R_2 + R_3 - W = 1000; \\ 0,093 \cdot R_1 - 0,045 \cdot R_2 + 0,014 \cdot R_3 - 0,1 \cdot R_4 + 0,063 \cdot W = 0; \\ 0,037 \cdot R_1 + 0,089 \cdot R_2 - 0,1 \cdot R_3 + R_4 - 0,19 \cdot W = 0; \end{cases}$$

$$R_1 = 242,7; R_2 = 1130; R_3 = 19,3; R_4 = -33,2; W = 391,7 \text{ Н.}$$

## Решение 2

$$\begin{cases} \sum M_{iz} = 0; \\ \sum M_{ix} = 0; \\ \sum P_{iz} = 0; \\ \sum P_{iy} = 0; \\ \sum P_{ix} = 0; \end{cases}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} R_1 \cdot f_1 \sqrt{25^2 + 10^2} + R_2 \cdot f_1 \sqrt{10^2 + 5^2} + R_3 \cdot f_1 \sqrt{70^2 + 10^2} + R_4(15 + f_1 \cdot 10) + W \cdot f \sqrt{30^2 + 10^2} - 4000 = 0; \\ -R_1 \cdot 10 - R_2 \cdot 10 + R_3 \cdot 70 + R_4 \cdot f_1 \cdot 10 - W(30 + f \cdot \sin(\arctg \frac{10}{30})) \cdot 40 = 0; \\ R_1 + R_2 + R_3 - W - 1000 = 0; \\ R_1 \cdot f_1 \cdot \cos 21,801^\circ - R_2 \cdot f_1 \cdot \sin(\arctg \frac{5}{10}) + R_3 \cdot f_1 \cdot \sin(\arctg \frac{10}{70}) - R_4 \cdot f_1 + W \cdot f \cdot \sin(\arctg \frac{10}{30}) = 0; \\ R_1 \cdot f_1 \cdot \sin 21,801^\circ + R_2 \cdot f_1 \cdot \cos(\arctg \frac{5}{10}) - R_3 \cdot f_1 \cdot \cos(\arctg \frac{1}{7}) + R_4 - W \cdot f \cdot \cos(\arctg \frac{1}{3}) = 0; \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} 2,693 \cdot R_1 + 1,118 \cdot R_2 + 7,071 \cdot R_3 + 16 \cdot R_4 + 6,325 \cdot W = 4000; \\ -10 \cdot R_1 - 10 \cdot R_2 + 70 \cdot R_3 + R_4 - 32,53 \cdot W = 0; \\ R_1 + R_2 + R_3 - W = 1000; \\ 0,093 \cdot R_1 - 0,045 \cdot R_2 + 0,014 \cdot R_3 - 0,1 \cdot R_4 + 0,063 \cdot W = 0; \\ 0,037 \cdot R_1 + 0,089 \cdot R_2 - 0,1 \cdot R_3 + R_4 - 0,19 \cdot W = 0; \end{array} \right.$$

$$R_1 = 190,7; R_2 = 776,3; R_3 = 229,9; R_4 = -15,8; W = 196,9 \text{ Н.}$$

Принимаем большее расчетное значение силы закрепления из решения 1  $W = 391,7$  Н. Значение частного коэффициента запаса, учитывающего расположение реакций от точечных опор, станет  $k_6 = 1$ . Общий коэффициент запаса при этом составит

$$K = k_0 \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot k_5 \cdot k_6 = 1,5 \cdot 1 \cdot 1,15 \cdot 1 \cdot 1,3 \cdot 1,2 \cdot 1 = 2,69.$$

Необходимая сила закрепления  $Q$  составит  $Q = W \cdot K = 392 \cdot 2,69 = 1055$  Н.

### 6.3. Силы и моменты трения в силовых расчетах технологической оснастки

При движении одного тела относительно другого полная реакция  $S$  концом стрелки отклонена от нормали  $N$  в сторону, противоположную движению (рис. 38, *a*), на постоянный для данных тел угол  $\varphi$ , зависящий только от коэффициента трения  $f$  для рассматриваемой пары материалов. Угол  $\varphi$  между полной реакцией  $S$  и нормальной реакцией  $N$  называется углом трения  $\varphi = \arctg f$ .

На сопряженные тела действуют полные реакции ( $S = |S'|$ ), равные по величине и противоположно направленные. Сила трения скольжения  $F$  всегда направлена в сторону, противоположную дви-

жению (скорости  $V$ ) и не зависит от площади трущихся поверхностей, при условии не нарушения их контактной прочности.

Угол трения  $\varphi$  дает возможность во многих задачах учитывать силы трения без их определения. Для этого полную реакцию одного тела на другое направляют не перпендикулярно, а отклоняют от нормали на угол трения в сторону, противоположную относительному движению. Силы трения при этом учитываются автоматически.

Коэффициенты трения  $f'$  на наклонных поверхностях 1, 2 (рис. 38, б) называют фиктивными или приведенными и определяют

$$f'_1 = f / \sin \alpha; \quad f'_2 = f / \sin \beta,$$

где  $f$  – коэффициент трения скольжения по горизонтальной плоскости;  $\alpha$  и  $\beta$  – углы наклона плоскостей скольжения к вертикали.

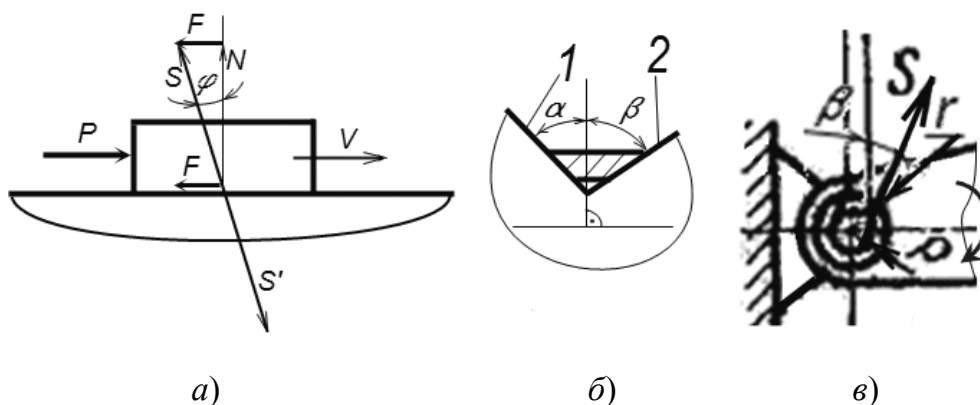


Рис. 38. Схемы сил, действующих на движущиеся тела

Трение скольжения во вращательной кинематической паре характеризуется приведенным коэффициентом трения  $f'$ , который зависит от закона распределения давления между цапфой вала и подшипником. При постоянном давлении по всей поверхности соприкосновения (что соответствует новой не приработавшейся вращательной паре)  $f' = f \cdot \pi / 2$ . Для приработавшихся вращательных пар принимается, что износ подшипника равномерный с косинусоидальным законом распределения давления и  $f' = f \cdot 4 / \pi$ .

Момент трения во вращательной паре скольжения (рис. 38, в) определяется

$$M_{\text{тр}} = S \cdot r \cdot f' = S \cdot \rho = S \cdot r \cdot f \cdot 4 / \pi \approx S \cdot r \cdot 1,27 \cdot f,$$

где  $S$  – радиальная нагрузка (реакция) в подшипнике;  $\rho = f' \cdot r$  – радиус круга трения;  $r$  – радиус цапфы вала (оси).

Реакцию  $S$  в подшипнике скольжения (рис. 38, в) следует проводить не через ось вала, а по касательной к кругу трения  $\rho$ , так чтобы ее момент относительно оси вращения был направлен противоположно относительному вращению.

Момент сопротивления (трения) вращению в шариковом или роликовом подшипнике определяется

$$M_{\text{т-к}} = S \cdot r \cdot f'',$$

где  $M_{\text{т-к}}$  – момент трения-качения;  $f''$  – приведенный коэффициент трения в подшипнике качения:  $f'' = 0,001-0,004$  – для шарикоподшипника;  $f'' = 0,0025-0,01$  – для роликоподшипника.

#### 6.4. Определение силы привода для клинового зажимного механизма одностороннего действия

Зависимость между силой привода  $P$ , приложенной к клину  $1$ , и силой закрепления заготовки  $W$ , создаваемой клиновым скосом на плунжере  $2$ , без учета сил трения (рис. 39, б):

$$P = W \cdot \operatorname{tg} \alpha. \quad (6.2)$$

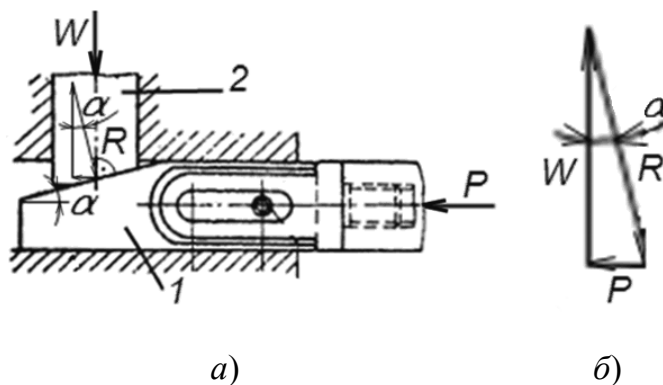


Рис. 39. Схема действия «идеального» клинового зажима

Для реального механизма (рис. 40) сила привода  $P$ , обеспечивающая получение расчетной силы закрепления  $W$ , с учетом сил трения на поверхностях, находящихся в относительном движении, может быть определена графически и аналитически.

При графическом способе используют векторные уравнения сил, действующих на плунжер (толкатель)  $3$  и клин  $4$ . Правильность определения этим способом силы привода зависит от того, насколько точно определены направления действия сил.

На толкатель 3 действует известная сила закрепления ( $W = |R_{23}|$  со стороны заготовки 2), реакция  $R_{13}$  (со стороны корпуса 1) и реакция  $R_{43}$  (со стороны рабочего скоса клина 4). Эти реакции (рис. 40, 1, 2) отклонены от нормалей к соответствующим поверхностям на углы трения  $\varphi_1$  и  $\varphi_2$  под действием сил трения  $T_1$  (между корпусом 1 и толкателем 3),  $T_2$  (между толкателем 3 и клином 4).

Наклоны реакций  $R_{13}$  на  $\varphi_1$  и  $R_{43}$  на  $\varphi_2$  от нормалей к поверхностям трения в стороны, противоположные относительным движениям, позволяют автоматически учитывать силы трения  $T_1$  и  $T_2$ . Тогда векторное уравнение сил, действующих на плунжер 3, будет:

$$\bar{R}_{23} = \bar{R}_{13} + \bar{R}_{43}. \quad (6.3)$$

В этом уравнении сила  $R_{23} = |W|$  известна по величине и направлению, а для сил  $R_{13}$  и  $R_{43}$  известны направления. Поэтому уравнение (6.3) решается графически построением плана сил (рис. 40, 2). Силу  $R_{23}$  на плане откладывают в масштабе отрезком  $ab$ , от его концов проводят по известным направлениям лучи для реакций  $R_{13}$  и  $R_{43}$ , которые пересекаются в точке  $c$ . Значения реакций определяют при умножении длин полученных отрезков  $bc$  и  $ac$  на принятый масштаб  $W/ab$ .

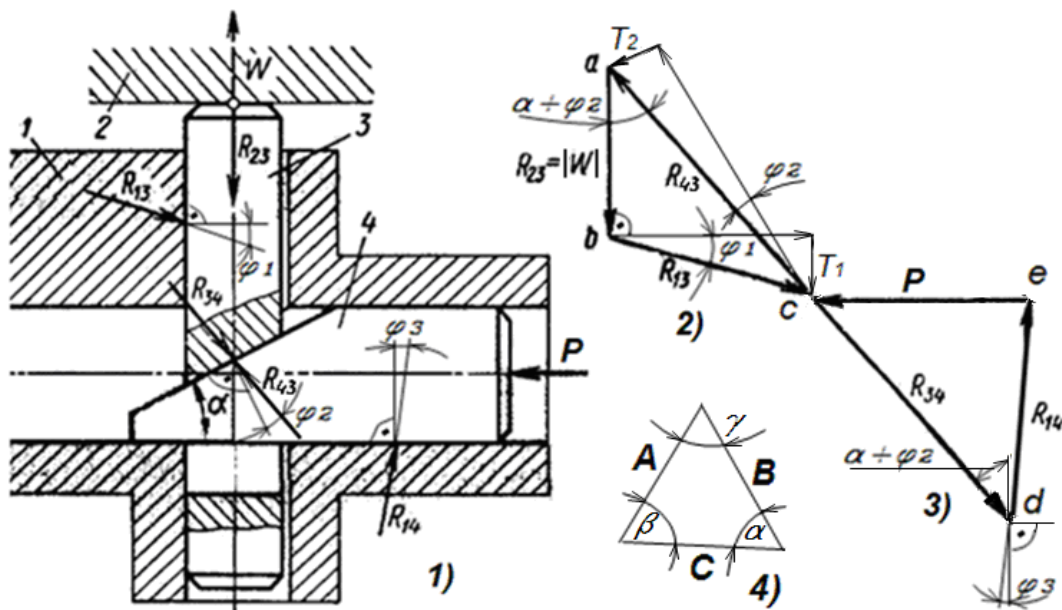


Рис. 40. Схема действия сил в клиновом зажимном механизме

На клин 4 действует сила привода  $P$  и реакции  $R_{14}$  (со стороны направляющей корпуса 1) и  $R_{34}$  (со стороны толкателя 3), которая равна по величине найденной из плана 2  $R_{43}$ , но противоположно направленной. Уравнение равновесия клина

$$\bar{P} = \bar{R}_{34} + \bar{R}_{14} \quad (6.4)$$

также решается графически на плане (рис. 40, 3), так как  $R_{34}$  берется равной отрезку  $ac$  из плана 2 и представляется отрезком  $cd$  на плане 3. Проведя через концы отрезка  $cd$  лучи по известным направлениям, для реакции  $R_{14}$  и силы привода  $P$  находим точку их пересечения  $e$ , а по длине  $ce$  и принятому масштабу значение силы привода  $P$ .

Построенные планы 2 и 3 позволяют определить силу привода  $P$  и аналитически по теореме синусов:

$$\frac{A}{\sin \alpha} = \frac{B}{\sin \beta} = \frac{C}{\sin \gamma} = d = 2r, \quad (6.5)$$

где  $d = 2r$  – диаметр описанной вокруг треугольника (рис. 40, 4) окружности;  $A, B, C$  – стороны треугольника;  $\alpha, \beta, \gamma$  – углы треугольника.

При известной силе закрепления  $W$  из плана (рис. 40, 2) с учетом формул приведения тригонометрических функций:

$$\begin{aligned} \frac{W}{\sin(180^\circ - (90^\circ + \varphi_1) - (\alpha + \varphi_2))} &= \frac{W}{\sin(90^\circ - (\varphi_1 + \alpha + \varphi_2))} = \\ &= \frac{W}{\cos(\alpha + \varphi_1 + \varphi_2)} = \frac{R_{43}}{\sin(90^\circ + \varphi_1)} = \frac{R_{43}}{\cos \varphi_1}; \end{aligned}$$

$$R_{43} = W \frac{\cos \varphi_1}{\cos(\alpha + \varphi_1 + \varphi_2)}.$$

Из плана 3:

$$\frac{P}{\sin(\alpha + \varphi_2 + \varphi_3)} = \frac{R_{34}}{\sin(90^\circ - \varphi_3)} = \frac{R_{34}}{\cos \varphi_3}; \quad P = R_{34} \frac{\sin(\alpha + \varphi_2 + \varphi_3)}{\cos \varphi_3};$$

$$|R_{34}| = |R_{43}| = W \frac{\cos \varphi_1}{\cos(\alpha + \varphi_1 + \varphi_2)},$$

поэтому

$$P = W \frac{\cos \varphi_1 \cdot \sin(\alpha + \varphi_2 + \varphi_3)}{\cos \varphi_3 \cdot \cos(\alpha + \varphi_1 + \varphi_2)}. \quad (6.6)$$

Формула (6.6) учитывает различные углы трения (равные  $\text{arctg}$  соответствующих коэффициентов трения) для различных материалов

трущихся пар. При одинаковых углах  $\varphi_1 = \varphi_3 = \varphi$  (корпус, клин и толкатель выполнены из одного материала):

$$P = W \cdot \sin(\alpha + \varphi + \varphi_2) / \cos(\alpha + \varphi + \varphi_2),$$

т. е.  $P = W \cdot \operatorname{tg}(\alpha + \varphi + \varphi_2)$ ;  $\varphi = \operatorname{arctg} f$  – угол трения для клина с корпусом и толкателя с корпусом;  $\varphi_2 = \operatorname{arctg} f_2$  – угол трения между клином и толкателем.

При  $\varphi_1 = \varphi_2 = \varphi_3 = \varphi$  (все пары скольжения из одного материала):

$$P = W \cdot \operatorname{tg}(\alpha + 2\varphi).$$

## 6.5. Расчет винтового зажимного механизма

Винтовой зажимной механизм (ВЗМ) применяют в приспособлениях с ручным закреплением заготовок, в приспособлениях механизированного типа, а также на автоматических линиях при использовании приспособлений-спутников; они просты, компактны и надежны в работе, создают большое усилие закрепления.

К недостаткам ВЗМ относится малая скорость закрепления-открепления. Для увеличения быстродействия применяют конструкции с быстросъемной шайбой (рис. 41, *а*) или откидной планкой (рис. 41, *б*). Особенно эффективны такие конструкции, если гайка *1* проходит через отверстие в заготовке *3*. Тогда гайку при закреплении-откреплении поворачивают лишь на 1–3 витка, значительно экономя время. В приспособлениях применяют резьбы от М8 до М42. Детали ВЗМ изготавливают из среднеуглеродистых сталей с твердостью HRC 33–38.

Номинальный диаметр винта определяют по формуле

$$d = C \cdot \sqrt{Q / [\sigma]}, \quad (6.7)$$

где  $d$  – номинальный диаметр резьбы, мм;  $Q$  – необходимое усилие закрепления заготовки с учетом коэффициента запаса  $K$ , Н;  $[\sigma] = 80\text{--}100$  МПа – допустимое напряжение растяжения (сжатия) для винтов из стали 45 с учетом износа резьбы;  $C = 1,4$  – коэффициент для метрической резьбы с крупным шагом, так как  $[\sigma] = Q/F = 4 \cdot Q / \pi \cdot d_b^2$ ;  $d_b = 0,8 \cdot d$ ;  $d_b = 1,128 \cdot \sqrt{Q / [\sigma]}$ ;  $d = d_b / 0,8 \approx 1,4 \cdot \sqrt{Q / [\sigma]}$ , где  $F$  – площадь «слабого» сечения винта;  $d_b$  – внутренний диаметр резьбы.

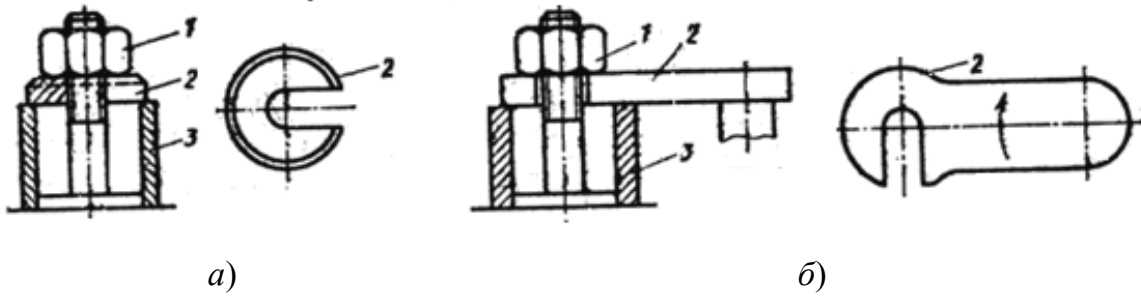


Рис. 41. Конструкции быстродействующих ВЗМ

Диаметр округляют до ближайшего большего стандартного значения.

Момент  $M$  ( $\text{Н} \cdot \text{мм}$ ), развиваемый вручную на рукоятке, гайке или маховичке, для получения определенной ранее силы закрепления  $Q$ :

$$M = Q \cdot r_{\text{ср}} \cdot \text{tg}(\alpha + \rho) + M_{\text{тр}}, \quad (6.8)$$

$$P_{\text{пр}} \cdot L = M,$$

где  $P_{\text{пр}}$  – сила привода, прикладываемая к рукоятке, Н;  $L$  – длина плеча (рукоятки) для создания момента  $M$ , мм;  $r_{\text{ср}}$  – средний радиус резьбы, мм;  $\alpha$  – угол подъема резьбы,  $\alpha = \text{arctg}(t/(\pi \cdot d_{\text{ср}}))$ ;  $t$  – шаг резьбы, мм;  $d_{\text{ср}}$  – средний диаметр резьбы, мм;  $\rho$  – угол трения в резьбе,  $\rho = \text{arctg} f' = \text{arctg}(f/\sin 60^\circ)$ ;  $f'$  – приведенный коэффициент трения на витках резьбы;  $f$  – коэффициент трения на плоскости для материалов резьбовой пары;  $M_{\text{тр}}$  – момент трения на опорном торце гайки или винта

$$M_{\text{тр}} = Q \cdot \frac{1}{3} \cdot f \frac{D_{\text{н}}^3 - d_{\text{в}}^3}{D_{\text{н}}^2 - d_{\text{в}}^2}; \quad (6.9)$$

$D_{\text{н}}$  – наружный диаметр опорного торца гайки или винта;  $d_{\text{в}}$  – внутренний диаметр опорного торца гайки или винта.

Приняв для стандартных зажимных элементов с метрической резьбой  $\alpha = 2^\circ 30'$  (для резьбы от М8 до М42  $\alpha = 3^\circ 10' - 1^\circ 57'$ );  $\rho = 10^\circ 30'$ ,  $r_{\text{ср}} = 0,45 \cdot d$ ; для стандартной гайки  $D_{\text{н}} = 1,7 \cdot d$ ;  $d_{\text{в}} = d$  и  $f = 0,15$ ; получим приближенную формулу для момента закрепления гайкой

$$M \approx 0,2 \cdot Q \cdot d. \quad (6.10)$$



Момент открепления винтового зажима при  $\rho > \alpha$

$$M' = Q \cdot r_{cp} \cdot \operatorname{tg}(\rho - \alpha) + M_{\text{тр}}. \quad (6.11)$$

При откреплении приходится преодолевать трение покоя, поэтому значения  $\rho$  и  $f$  берут на 30–50 % большими, чем при закреплении. После преобразований приближенная формула для открепления гайки

$$M' \approx 0,25 \cdot Q \cdot d. \quad (6.12)$$

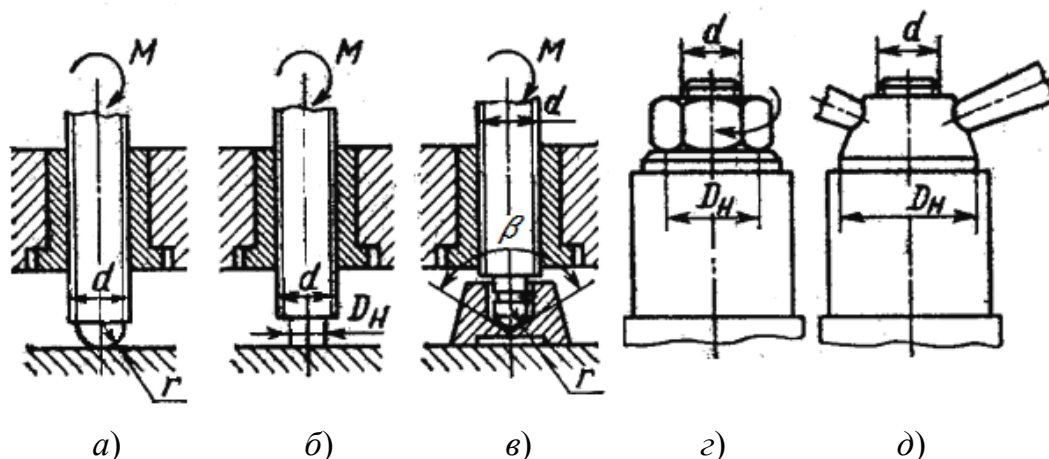


Рис. 42. Примеры конструкций винтовых зажимных механизмов

При расчете ВЗМ с использованием нажимных винтов можно использовать приведенные ниже приближенные формулы расчета момента закрепления винтами:

– со сферическим торцом (рис. 42, а):

$$(M_{\text{тр}} < 0,03 \cdot M) \quad M \approx 0,1 \cdot Q \cdot d; \quad (6.13)$$

– с плоским торцом (рис. 42, б):

$$M \approx 0,1 \cdot Q \cdot d + f \cdot Q \cdot D_{\text{н}} / 3; \quad (6.14)$$

– с башмаком (рис. 42, в):

$$M \approx 0,1 \cdot Q \cdot d + f \cdot Q \cdot r \cdot \operatorname{ctg} \beta / 2; \quad (6.15)$$

$r$  – радиус закругления нажимного торца винта. При  $\beta = 120^\circ$  и  $f = 0,16$

$$M \approx 0,1 \cdot Q(d + r). \quad (6.16)$$

Для нажимных винтов используют различные виды головок (рис. 43), при помощи которых создается крутящий момент.

Длина рукоятки (ключа)  $L$  при закреплении вручную определяется по допустимой силе воздействия руки рабочего из условия равновесия ВЗМ

$$M = [P_{\text{пр}}] \cdot L, \quad L = M/147,$$

где  $[P_{\text{пр}}] \leq 147$  Н – допустимая сила ручного привода.

Если длина рукоятки  $L$  известна, то находят силу  $P_{\text{пр}}$  для ручного привода при закреплении  $P_{\text{пр}} = M/L$  или при откреплении  $P_{\text{пр}} = M'/L$  и сравнивают с допустимой силой для рабочего  $P_{\text{пр}} \leq [P_{\text{пр}}]$ , если это условие не выполняется, то увеличивают длину рукоятки  $L$ .

**Пример:** Определить диаметр нажимного винта и его момент для закрепления заготовки силой  $Q = 6$  кН. Установить форму головки винта для закрепления его вручную при  $f = 0,16$ ;  $D_{\text{н}} = 8$  мм.

*Решение:* диаметр винта находим по формуле (6.7), приняв  $C = 1,4$ ;  $\sigma = 100$  МПа;  $d = 1,4 \cdot \sqrt{6000/100} = 1,4 \cdot \sqrt{60} = 10,81$  мм. Примем ближайший больший стандартный  $d = 12$  мм, для винта:

– со сферическим торцом по формуле (6.13):

$$M \approx 0,1 \cdot Q \cdot d = 0,1 \cdot 6000 \cdot 12 = 7200 \text{ Н} \cdot \text{мм} = 720 \text{ Н} \cdot \text{см};$$

– с плоским торцом по формуле (6.14):

$$\begin{aligned} M &= 0,1 \cdot 6000 \cdot 12 + 0,16 \cdot 6000 \cdot 8/3 = \\ &= 7200 + 2560 = 9760 \text{ Н} \cdot \text{мм} = 976 \text{ Н} \cdot \text{см}. \end{aligned}$$

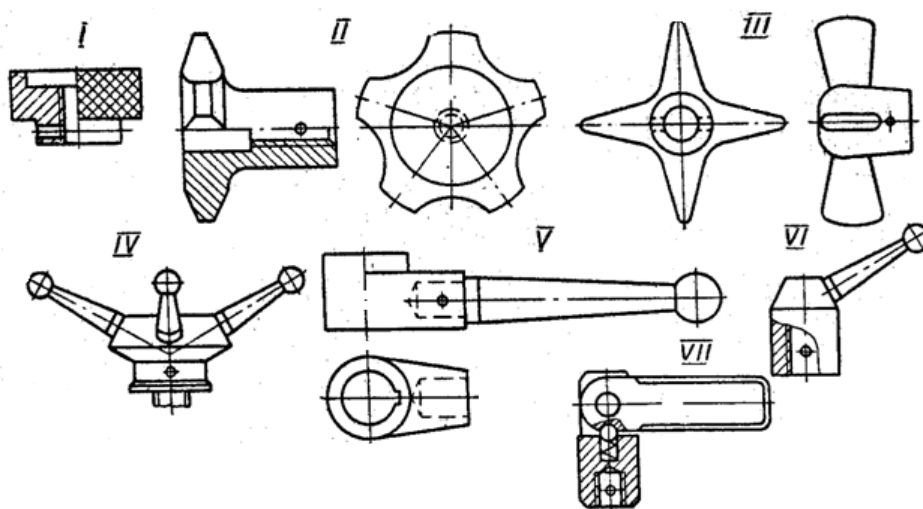


Рис. 43. Виды головок для нажимных винтов

По величине моментов закрепления находим форму и размеры соответствующих головок для нажимных винтов [5, табл. 11, с. 64].

## 6.6. Цанговые зажимные механизмы

Цангами называются разрезанные вдоль оси пружинящие втулки, которые центрируют заготовку по внешним или внутренним базовым поверхностям.

Продольные прорезы превращают каждый лепесток цанги в консольно закрепленную балку, которая получает упругие радиальные перемещения при продольном движении конусов цанги относительно корпуса. Поскольку одинаковые радиальные перемещения всех лепестков цанги происходят одновременно, они обладают свойством самоцентрирования.

Применяются цанговые зажимные механизмы с тянущей (рис. 44, а), толкающей (рис. 44, б) и неподвижной цангой (рис. 44, в). Число лепестков цанги зависит от ее конструкции, рабочего диаметра и профиля заготовки (рис. 44, г).

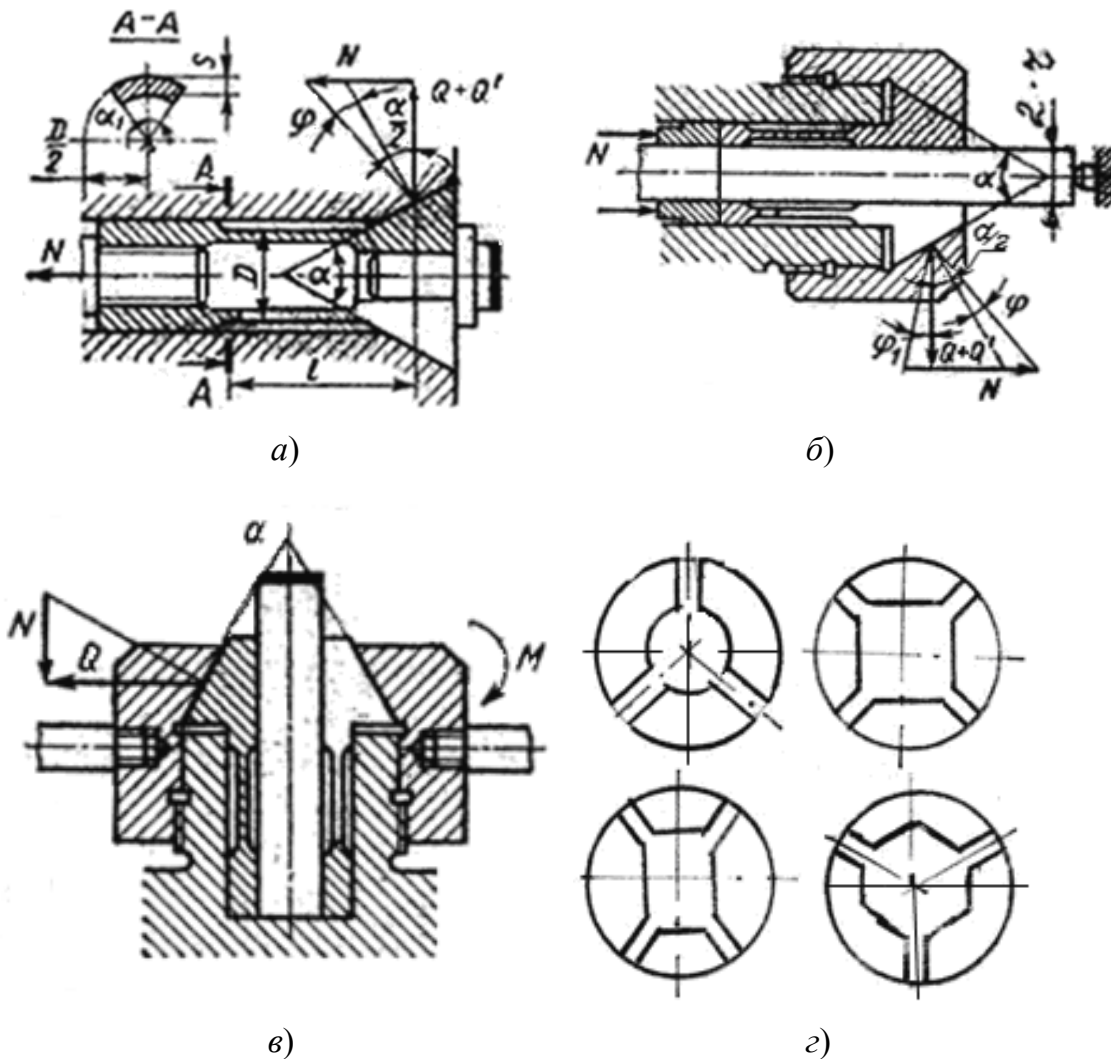


Рис. 44. Схемы цанговых зажимных механизмов

Для заготовки с базовой поверхностью, выполненной по 6–9 квалитету точности, цанги обеспечивают соосность 0,02–0,05 мм.

Каждый лепесток цанги представляет собой односкосый клин. Поэтому для приближенного расчета силы привода  $N$  можно пользоваться формулами для клина. Но рассчитанная таким образом сила  $N$  не будет точно соответствовать фактически потребной силе привода, так как часть усилия расходуется на деформацию лепестков цанги на величину  $y = z/2$  ( $z$  – зазор между заготовкой и цангой).

Силу привода цанги  $N$  при работе без упора (рис. 44, а) можно определить по формуле

$$N = (Q + Q') \cdot \operatorname{tg}(\alpha/2 + \varphi),$$

где  $Q$  – необходимая сила закрепления заготовки, Н;  $Q'$  – сила сжатия всех лепестков цанги для выбора зазора, Н;  $\alpha$  – угол конуса цанги, град;  $\varphi$  – угол трения между цангой и корпусом, град.

Силу  $Q'$  можно найти из зависимости прогиба  $y$  консольно закрепленной балки (одного лепестка) с вылетом  $l$  (рис. 44, а):

$$y = \frac{Q' \cdot l^3}{3 \cdot E \cdot J}.$$

Тогда для всех лепестков

$$Q' = n \frac{3 \cdot E \cdot J \cdot y}{l^3},$$

где  $Q'_1$  – сила, изгибающая один лепесток цанги;  $E = 2 \cdot 10^5$ – $2,2 \cdot 10^5$  – модуль упругости для стальных цанг, МПа;  $J$  – момент инерции сектора сечения цанги в месте заделки, мм<sup>4</sup>;  $y$  – стрела прогиба лепестка, мм;  $n$  – число лепестков;  $l$  – длина лепестка цанги от места заделки до середины конуса, мм.

При наличии осевого упора силу привода цанги следует увеличить для преодоления силы трения между цангой и заготовкой (рис. 44, б):

$$N = (Q + Q') \cdot \operatorname{tg}(\alpha/2 + \varphi) + Q \cdot \operatorname{tg}\varphi_1, \quad (6.17)$$

где  $\operatorname{tg}\varphi_1 = f_1$  – коэффициент трения между цангой и заготовкой.

Рассчитать силу привода можно и по коэффициенту усиления, так как

$$N \approx (Q + Q') / K_y,$$

где  $K_y$  – коэффициент усиления (передаточное отношение сил закрепления и привода  $K_y = (Q + Q') / N$  по табл. 15).

Таблица 15

Коэффициенты усиления для цанг

Зажим без упора	$K_y$	7,23	5,23	3,53	2,63	1,67	1,16	0,97	0,82
	КПД	0,25	0,46	0,62	0,71	0,78	0,81	0,82	0,82
Зажим с упором	$K_y$	4,2	3,44	2,61	2,08	1,49	1,03	0,89	0,75
	КПД	0,15	0,31	0,46	0,56	0,65	0,72	0,73	0,75
$\alpha/2$ , град		2°	5°	10°	15°	25°	35°	40°	45°

## 6.7. Применение рычажных механизмов в оснастке

Рычажные механизмы применяют при закреплении заготовок прихватами и в сочетании с другими зажимными механизмами. С помощью рычагов можно изменить величины и направления передаваемых сил, произвести одновременное и равномерное закрепление заготовки в нескольких точках.

Прихваты изготавливают из сталей 35, 45 с закалкой HRC 40–45. Прихваты из малоуглеродистых сталей 20, 20X цементируют на глубину 0,8–1,2 мм с последующей закалкой до HRC 54–60. Многие конструкции прихватов стандартизованы.

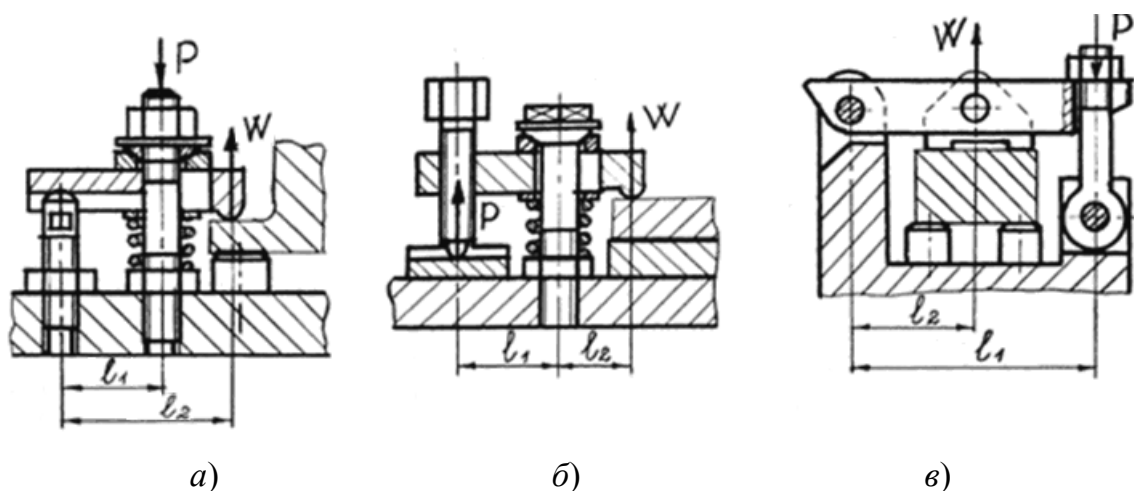


Рис. 45. Конструкции рычажных прихватов

Из множества конструкций рычажных прихватов, используемых для закрепления заготовок, можно выделить три типовые конструктивные схемы (рис. 45), и для них применяют три расчетные схемы (рис. 46). Без учета сил трения зависимость между силой привода  $P$  и силой закрепления  $W$  определяется из равенства моментов относительно точки поворота

$$P = W \cdot l_2 / l_1,$$

где  $l_1$  и  $l_2$  – соответствующие силам длины плеч рычага.

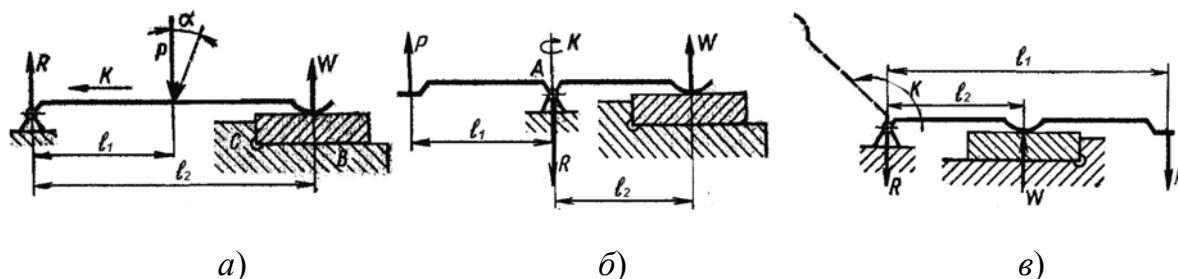


Рис. 46. Идеальные схемы действия сил на прихваты

Схема рис. 46, *а* наименее эффективна при использовании рычага для выигрыша в силе, так как сила привода всегда будет больше силы закрепления  $P = W + R$ . Прихват обычно отодвигают по стрелке  $K$  после снятия силы привода, облегчая доступ к заготовке.

Схема рис. 46, *б* более эффективна, так как сила привода не обязательно должна быть больше силы закрепления  $R = P + W$ . Для облегчения доступа к заготовке прихват поворачивают по стрелке  $K$  или отодвигают.

Схема рис. 46, *в* наиболее эффективна, так как сила привода всегда меньше силы закрепления  $W = P + R$ . Для доступа к заготовке прихват делают откидным по стрелке  $K$ .

Сила привода  $P$ , действующая на прихват перпендикулярно, вызывает силу закрепления  $W$ , перпендикулярную к заготовке, прижимающую ее к опоре  $B$  (рис. 46, *а*). Если же  $P$  приложить под углом  $\alpha$ , или повернуть на угол  $\alpha$  прихват, то на заготовку будут действовать две проекции силы  $W$ , которые будут поджимать заготовку к двум опорам  $B$  и  $C$ .

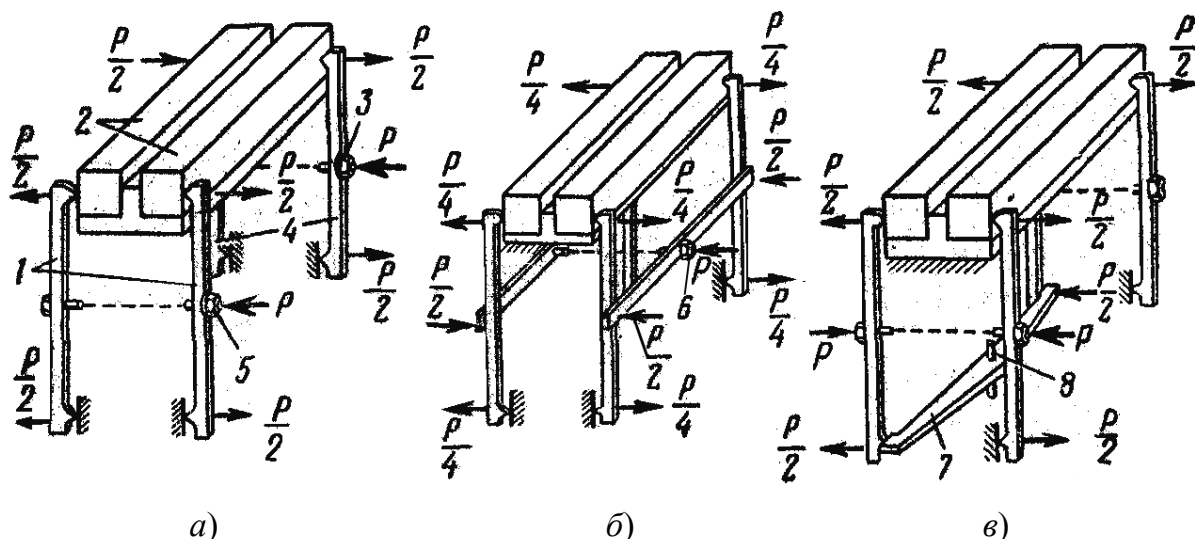


Рис. 47. Схемы блокировки прихватов

Прихваты объединяют (блокируют) для того, чтобы прикладывая силу привода в одном месте, обеспечить закрепление заготовки (или заготовок) в нескольких местах, без увеличения силы привода. На рис. 47, а показана схема объединения пар прихватов 1 и 4 для крепления двух заготовок в четырех точках. Здесь каждая пара прихватов закрепляет заготовки в двух точках силами  $P/2$ . Силы привода  $P$  создаются при завинчивании двух гаек 3 и 5.

На схеме рис. 47, б сблокированы все четыре прихвата с делением силы привода на четыре точки. Четыре силы закрепления  $P/4$  вызывает завинчивание гайки 6, создающей силу  $P$ .

На схеме рис. 47, в все четыре прихвата приводятся в действие одной силой привода  $P$ . Силы закрепления  $P/2$ , как и в схеме рис. 47, а, но закрепление происходит быстрее и удобнее за счет применения козыры 7, качающегося на оси 8.

Блокировка на схеме рис. 47, в наиболее рациональна и по производительности, и по использованию силы как ручного, так и механического привода.

### 6.8. Определение силы привода с учетом сил трения для шарнирных прихватов

В реальных конструкциях прихватов (см. рис. 45) и передающих звеньях с шарнирами зажимных устройств действуют силы трения, которые требуют увеличения силы привода по сравнению с силой привода идеального шарнирного механизма. Причем графическое решение таких задач чаще всего отсутствует из-за неопределенного

направления реакций в шарнирах. Рассмотрим три задачи определения сил приводов с учетом сил трения для прихватов с шарнирами для трех схем, соответствующих идеальным схемам на рис. 46.

**Схема а** (рис. 48). Дано:  $W$  – сила закрепления заготовки 1;  $f_1$  – коэффициент трения между толкателем 3 и прихватом 2;  $f_2$  – коэффициент трения между прихватом 2 и заготовкой 1;  $f'$  – приведенный коэффициент трения в шарнире между осью 4 и прихватом 2 ( $(f' = f \cdot 4/\pi)$  – для приработанной пары трения, где  $f$  – коэффициент трения на плоскости для материалов шарнира);  $r$  – радиус оси шарнира;  $l_1, l_2, l'_1, l'_2$  – размеры для точек действия сил на прихват относительно центра его поворота.

Определить силу привода  $P$ .

Так как в задаче три неизвестных: сила привода  $P$ , реакция в шарнире  $S$  (отстоящая от центра шарнира на радиус круга трения  $\rho = f' \cdot r$  и создающая момент трения в шарнире  $M_T = S \cdot \rho$ , противодействующий моменту от силы привода), направление реакции  $S$  в шарнире (угол  $\beta$ ), то графическое решение невозможно.

Аналитическое решение требует для определения трех неизвестных трех линейных уравнений для приведенной на рис. 48 схемы сил:

$$\sum M_{z_i} = 0; -P \cdot l_1 + W \cdot l_2 + F_1 \cdot l'_1 + F_2 \cdot l'_2 + S \cdot \rho = 0;$$

$$P \cdot l_1 = W \cdot l_2 + F_1 \cdot l'_1 + F_2 \cdot l'_2 + S \cdot \rho. \quad (6.18)$$

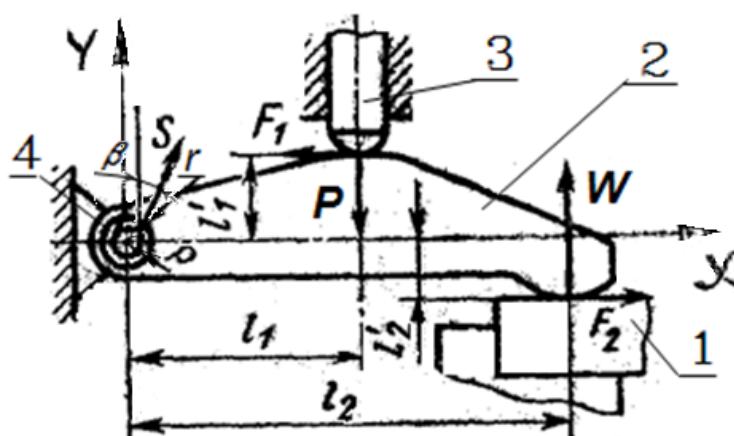


Рис. 48. Схема действия сил на прихват по рис. 46, а

Слагаемые правой части уравнения (6.18) всегда противодействуют моменту силы привода, что позволяет просто определить на-



правления сил трения  $F_1$  и  $F_2$  в зависимости от расположения  $l'_1$  и  $l'_2$  относительно точки поворота прихвата в шарнире.

$$\sum P_{x_i} = 0; \quad S_x - F_1 + F_2 = 0; \quad S_x = F_1 - F_2, \quad S_x = P \cdot f_1 - W \cdot f_2; \quad (6.19)$$

$$\sum P_{y_i} = 0; \quad S_y - P + W = 0; \quad S_y = P - W. \quad (6.20)$$

Из уравнений (6.19) и (6.20) реакция в шарнире  $S$ :

$$\begin{aligned} S &= \sqrt{S_x^2 + S_y^2} = \sqrt{(P \cdot f_1 - W \cdot f_2)^2 + (P - W)^2} = \\ &= \sqrt{P^2(f_1^2 + 1) - 2 \cdot P \cdot W(f_1 \cdot f_2 + 1) + W^2(f_2^2 + 1)}. \end{aligned} \quad (6.21)$$

Подставив вместо  $F_1 = P \cdot f_1$ ,  $F_2 = W \cdot f_2$ , а вместо  $S$  (6.21) преобразуем уравнение (6.18) в квадратное уравнение с одним неизвестным  $P$ . Большой из корней этого уравнения будет искомой силой привода.

Например, для прихвата, изображенного на схеме рис. 48, для которого  $W$  всегда меньше  $P$ , при известных  $W = 100$  Н,  $f_1 = 0,2$ ;  $f_2 = 0,16$ ;  $f' = 0,25$ ;  $r = 10$  мм;  $l_1 = 60$  мм;  $l_2 = 100$  мм;  $l'_1 = 20$  мм;  $l'_2 = 10$  мм.

Для идеального (без сил трения) механизма:

$$P \cdot l_1 = W \cdot l_2.$$

$$P = W \cdot l_2 / l_1 = 100 \cdot 100 / 60 = 166,7 \text{ Н.}$$

Для реального механизма:

$$S = \sqrt{S_x^2 + S_y^2} = \sqrt{P^2(f_1^2 + 1) - 2 \cdot P \cdot W(f_1 \cdot f_2 + 1) + W^2(f_2^2 + 1)};$$

$$S = \sqrt{P^2 \cdot 1,04 - P \cdot 206,4 + 10256};$$

$$\sum M_i = 0; \quad -P \cdot l_1 + W \cdot l_2 + P \cdot f_1 \cdot l'_1 + W \cdot f_2 \cdot l'_2 + S \cdot \rho = 0;$$

$$-P \cdot 60 + 10000 + P \cdot 4 + 160 + 2,5 \cdot \sqrt{P^2 \cdot 1,04 - P \cdot 206,4 + 10256} = 0;$$

$$\left( \sqrt{P^2 \cdot 1,04 - P \cdot 206,4 + 10256} \right)^2 = (21,6 \cdot P - 4064)^2;$$

$$1,04 \cdot P^2 - 206,4 \cdot P + 10256 = 466,56 \cdot P^2 - 175564,8 \cdot P + 16516096;$$

$$465,52 \cdot P^2 - 175358,4 \cdot P + 16505840 = 0;$$

$$P^2 - 376,694 \cdot P + 35456,78 = 0; \quad P = 188,347 \pm \sqrt{188,347^2 - 35456,78};$$

$$P = 188,347 \pm \sqrt{17,813}; \quad P_1 = 192,6 \text{ Н}; \quad P_2 = 184,1.$$

Решением является первый корень  $P_1 = 192,6$  Н, который больше  $P$  для идеального механизма на  $\frac{192,6}{166,7} \cdot 100 \% = 115,5 \%$ .

**Схема б** (рис. 49). Дано:  $W, f_1, f_2, f', l_1, l_2, l'_1, l'_2, r$ . Определить силу привода  $P$ . В задаче три неизвестных:  $P, S, \varphi'$ , поэтому нет графического решения.

Аналитическое решение:

$$\sum M_{z_i} = 0; \quad -P \cdot l_1 + W \cdot l_2 + F_1 \cdot l'_1 + F_2 \cdot l'_2 + S \cdot \rho = 0;$$

$$P \cdot l_1 = W \cdot l_2 + F_1 \cdot l'_1 + F_2 \cdot l'_2 + S \cdot \rho. \quad (6.22)$$

$$\sum P_{x_i} = 0; \quad F_1 + F_2 - S_x = 0; \quad S_x = F_1 - F_2, \quad S_x = P \cdot f_1 + W \cdot f_2; \quad (6.23)$$

$$\sum P_{y_i} = 0; \quad P + W - S_y = 0; \quad S_y = P + W. \quad (6.24)$$

$$S = \sqrt{S_x^2 + S_y^2} = \sqrt{(P \cdot f_1 + W \cdot f_2)^2 + (P + W)^2} = \\ = \sqrt{P^2(f_1^2 + 1) + 2 \cdot P \cdot W(f_1 \cdot f_2 + 1) + W^2(f_2^2 + 1)}.$$

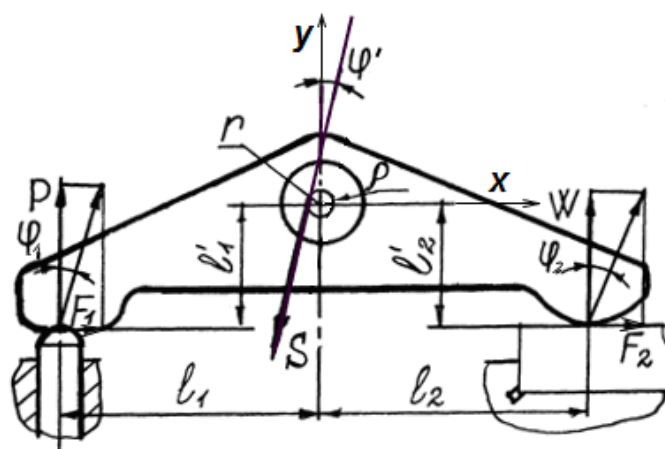


Рис. 49. Схема действия сил на прихват по рис. 46, б

Далее уравнение (6.22) приводим к квадратному уравнению и определяем неизвестную  $P$ , как в ранее рассмотренном примере.

**Схема в** (рис. 50). Дано:  $W, f_1, f_2, f', r, l_1, l_2, l'_1, l'_2$ .

Определить силу привода  $P$ .

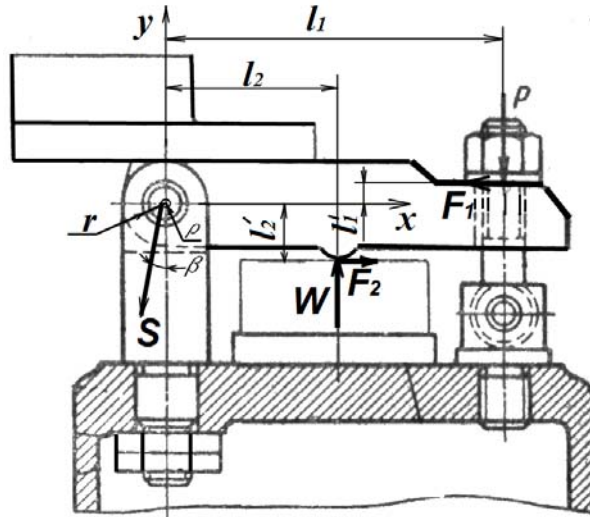


Рис. 50. Схема действия сил на прихват по рис. 46, в

В задаче три неизвестных  $P, S, \beta$ , поэтому решение графическое невозможно. Аналитическое решение:

$$\sum M_{z_i} = 0; \quad -P \cdot l_1 + W \cdot l_2 + F_1 \cdot l'_1 + F_2 \cdot l'_2 + S \cdot \rho = 0;$$

$$P \cdot l_1 = W \cdot l_2 + F_1 \cdot l'_1 + F_2 \cdot l'_2 + S \cdot \rho; \quad (6.25)$$

$$\sum P_{x_i} = 0; \quad S_x - F_1 + F_2 = 0; \quad S_x = F_1 - F_2; \quad S_x = W \cdot f_2 - P \cdot f_1; \quad (6.26)$$

$$\sum P_{y_i} = 0; \quad -S_y - P + W = 0; \quad S_y = W - P. \quad (6.27)$$

Из уравнений (6.26) и (6.27) реакция в шарнире  $S$ :

$$\begin{aligned} S &= \sqrt{S_x^2 + S_y^2} = \sqrt{(W \cdot f_2 - P \cdot f_1)^2 + (W - P)^2} = \\ &= \sqrt{P^2(f_1^2 + 1) - 2 \cdot P \cdot W(f_1 \cdot f_2 + 1) + W^2(f_2^2 + 1)}. \end{aligned} \quad (6.28)$$

Далее уравнение (6.25) приводим к квадратному уравнению и определяем неизвестную  $P$ , как в ранее рассмотренном примере.

## 6.9. Определение силы привода для Г-образного прихвата

Г-образные прихваты широко применяются в зажимных устройствах приспособлений. Они после закрепления обладают самотормозящими свойствами тем больше, чем больше отношение длины  $L$  к высоте прихвата  $H$  (рис. 51). Детали этого зажимного устройства стандартизованы.

Если не учитывать действующие перпендикулярно движению прихвата силы трения (от силы привода  $P$ , силы закрепления заготовки  $W$  и силы возвратной пружины  $P_{\Pi}$ ), то в расчетах можно не учитывать размеры  $h_1$  и  $h_2$ , а только  $H$  (высоту контакта прихвата  $1$  с корпусом  $3$ ) и длину  $L$ , тогда можно принять  $R = |-R'|$  и  $F = F' = R \cdot f$ . В задаче два неизвестных  $P$  и  $R$ , поэтому составим два уравнения статики для неподвижного прихвата. При закреплении прихват движется вниз, поэтому силы трения  $F$  и  $F'$  направим вверх.

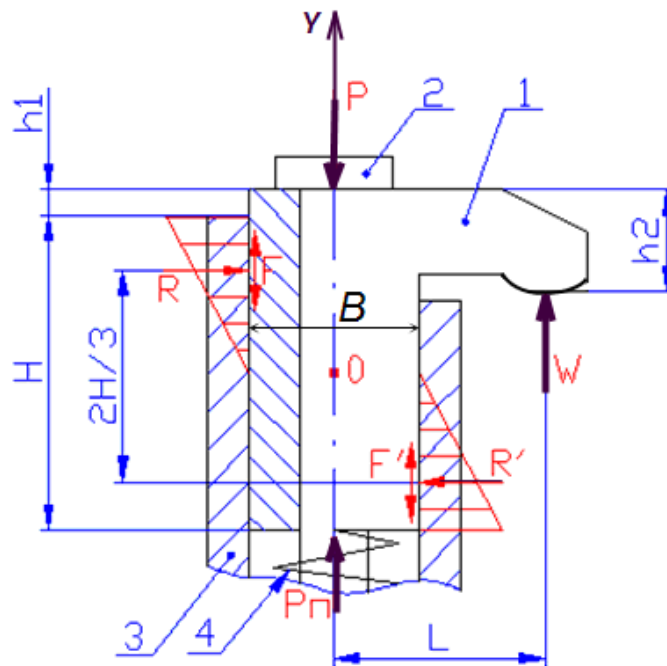


Рис. 51. Схема сил, действующих на Г-образный прихват

Сумма моментов относительно точки  $O$ :

$$\sum M_{io} = 0; \quad W \cdot L - 2 \cdot R \frac{H}{3} + F' \frac{B}{2} - F \frac{B}{2} = 0; \quad R = W \frac{3 \cdot L}{2 \cdot H}.$$

$$\sum P_{iy} = 0; \quad -P + F + F' + P_{\Pi} + W = 0;$$

$$P = P_{\Pi} + W + 2 \cdot F = P_{\Pi} + W + 2 \cdot W \cdot f \cdot 3 \cdot L / (2 \cdot H);$$

$$P = P_{\Pi} + W(1 + 3 \cdot L \cdot f / H). \quad (6.29)$$

Без учета силы возвратной пружины формула для силы привода

$$P = W \left( 1 + \frac{3 \cdot L \cdot f}{H} \right). \quad (6.30)$$

При удерживании закрепленной заготовки (прихват неподвижен и может двигаться только вверх) силы трения направлены вниз:

$$\sum P_{iy} = 0; \quad -P - F - F' + P_{\Pi} + W = 0;$$

$$P = P_{\Pi} + W - 2 \cdot F = P_{\Pi} + W - 2 \cdot W \cdot f \cdot 3 \cdot L / (2 \cdot H);$$

~~$$P = P_{\Pi} + W(1 - 3 \cdot L \cdot f / H), \quad (6.31)$$~~

т. е. для удерживания заготовки стандартным прихватом, для которого  $L \approx H$  по формуле (6.31) требуется усилие примерно на 60 % меньше, чем для закрепления заготовки по формуле (6.29).

Вывод этой зависимости без учета силы возвратной пружины  $P_{\Pi}$  даст формулу

~~$$P = W \left( 1 - \frac{3 \cdot L \cdot f}{H} \right). \quad (6.32)$$~~

Однако пользоваться формулами (6.31) и (6.32) нельзя (как и всеми формулами, зачеркнутыми здесь), так как силы трения при закреплении действуют против силы привода, снижая ее эффективность для закрепления заготовки. Точно так нельзя пользоваться и формулами (6.33) и (6.34), приводимыми в справочниках [1], [7] и др.

По виду формула (6.32) напоминает формулу (6.33):

~~$$W = P \left( 1 - \frac{3 \cdot L \cdot f}{H} \right), \quad (6.33)$$~~

приводимую в справочниках для Г-образного прихвата, если поменять местами силу привода  $P$  и силу закрепления  $W$ . Можно предположить, что путаница в обозначениях сил, возникшая на некотором этапе, переходила из книги в книгу и достигла своего «обоснования»

в [7, с. 178]. Такая же ситуация с формулой, учитывающей силу возвратной пружины, которая имеет вид

$$W = (P - P_{\text{п}}) \left( 1 - 3 \cdot \frac{L \cdot f}{H} \right). \quad (6.34)$$

## 6.10. Реечные зажимные механизмы

Реечные зажимные механизмы (РЗМ) применяют, когда зажимные механизмы приспособлений требуется расположить на значительном расстоянии от места установки заготовки. При использовании замков (роликовых, конических и т. п.) РЗМ становится самотормозящим. Наибольшее распространение получили конусные замки (рис. 52, б). Реечные зажимные механизмы с конусными замками стандартизованы ГОСТ 13163–67 [1, с. 418].

Например реечный зажимной механизм с конусным замком размерами  $D = 16$  мм;  $l = 40$ ;  $l_1 = 16$  мм имеет условное обозначение: «Зажим 7038-0011 ГОСТ 13163–67».

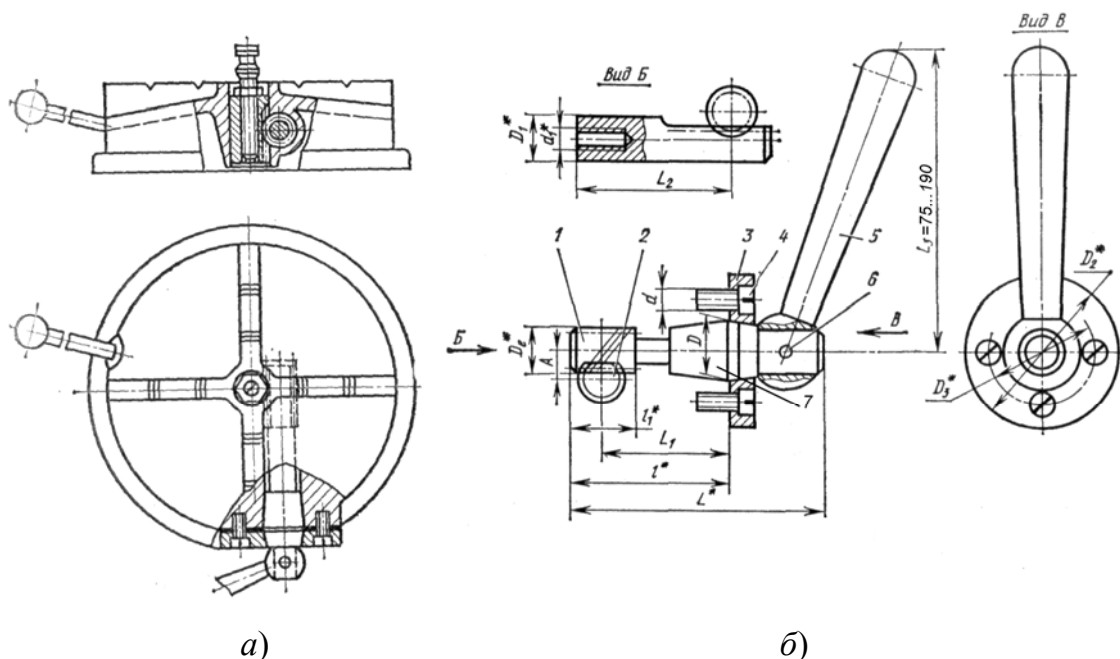


Рис. 52. Приспособление с РЗМ (а), РЗМ с коническим замком (б)

Сила закрепления заготовки  $W$  через зубчатую рейку 2 действует на вал-шестерню 1, на котором расположен конус замка 7 и рукоятка 5, приводящая РЗМ в действие. Рукояткой 5 сила привода  $P$  создает момент  $M$ , передаваемый на рейку 2 с учетом потерь на трение (КПД):

$$P \cdot L = M \cdot \eta; \quad M \cdot \eta = W \cdot D_d / 2 = W \cdot m \cdot z / 2,$$

где  $P = 147$  Н – допустимая сила ручного привода;  $L$  – длина рукоятки ( $L = L_3$  на рис. 52, б), мм;  $M$  – момент на валу-шестерне, Н · мм;  $D_d$  – делительный диаметр вала-шестерни;  $m$  – модуль зубьев реечной зубчатой передачи ( $m = D_2 / (z + 2) = 1-2$  мм);  $z$  – число зубьев вала-шестерни  $1$  (зубчатого колеса);  $\eta$  – КПД РЗМ (при использовании конического замка  $\eta = 0,85$ ).

$$\text{Тогда } M = W \cdot z \cdot m / 1,7.$$

При допустимой силе ручного привода и стандартных длинах рукоятки сила натяжения рейки (сила закрепления заготовки  $W$ ) составляет  $W = 550-2775$  Н.

### 6.11. Расчет геометрических параметров эксцентриковых зажимов

Эксцентриковые зажимные механизмы (ЭЗМ) (рис. 54) бывают с профилями: круговым, по архимедовой или логарифмической спирали, по эвольвенте. Изготавливают ЭЗМ из стали 20Х с цементацией на глубину 0,8–1,2 мм с последующей закалкой до HRC 55–60.

Исходными данными для расчета основных размеров круглого эксцентрика (рис. 53) являются:  $T$  – допуск на размер заготовки от опоры до точки приложения силы закрепления;  $\beta$  – угол поворота эксцентрика от начального (нулевого) положения;  $W$  – сила закрепления заготовки.

Если угол поворота эксцентрика с круговым профилем не ограничен (до  $180^\circ$ ), то наибольшее перемещение наружной поверхности от оси поворота принимают

$$y = 2 \cdot e = T + S_1 + S_2 + W / J, \quad (6.35)$$

где  $e$  – эксцентриситет оси поворота относительно наружного профиля;  $S_1 = 0,2-0,4$  мм – зазор для свободной установки детали под зажим;  $S_2 = 0,4-0,6$  мм – запас хода, не допускающий его переход через мертвую точку ( $180^\circ$ ) с учетом износа эксцентрика;  $J = 12000-18000$  Н/мм – нормативная жесткость ЭЗМ.

На схеме рис. 53 видно, что величина вертикального перемещения  $y$  профиля ЭЗМ зависит от  $e$  и  $\beta$ :

$$y = e - e \cdot \cos \beta = e(1 - \cos \beta) \leq 2 \cdot e. \quad (6.36)$$

Если угол поворота  $\beta$  значительно меньше  $180^\circ$  ( $\beta \leq 130^\circ$ ), то из формулы (6.35) исключают  $S_2$  и с учетом формулы (6.36) принимают величину эксцентриситета равной

$$e = (T + S_1 + W / J) / (1 - \cos \beta). \quad (6.37)$$

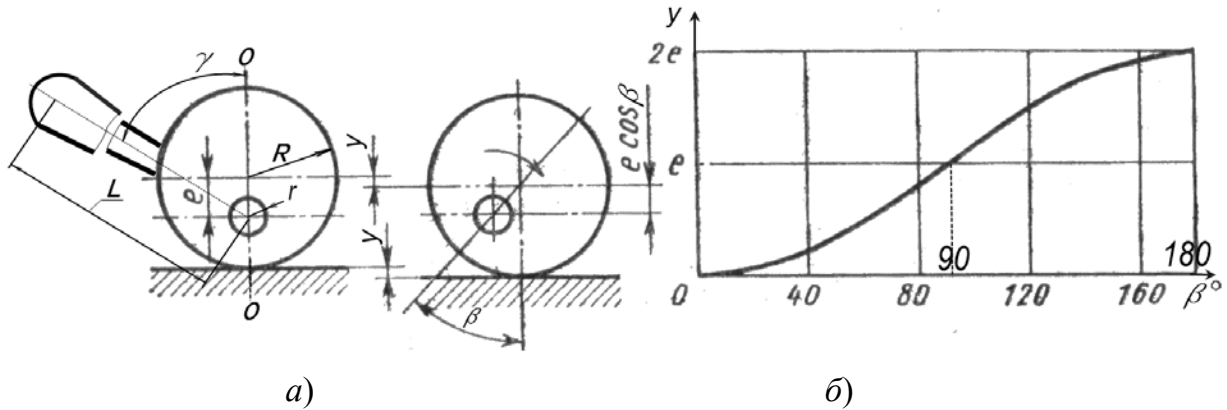


Рис. 53. Схема зависимости вертикального перемещения кругового профиля эксцентрика от угла поворота

Радиус цапфы  $r$  эксцентрика при ее длине  $b$ , мм:

$$r = W / (2 \cdot b \cdot [\sigma_{\text{см}}]), \quad (6.38)$$

где  $[\sigma_{\text{см}}] = 15\text{--}20$  МПа – допустимое напряжение цапфы на смятие.

При  $b = 2 \cdot r$

$$r = 0,5 \sqrt{W / [\sigma_{\text{см}}]}. \quad (6.39)$$

Ширина рабочей части эксцентрика

$$B = 0,17 \cdot W \cdot E / (R \cdot \sigma^2), \quad (6.40)$$

где  $E = 2 \cdot 10^5$  МПа – модуль упругости стали;  $\sigma = 800\text{--}1200$  МПа – допустимое контактное напряжение в точке закрепления заготовки закаленной поверхностью эксцентрика;  $R$  – радиус эксцентрика, мм.

Радиус эксцентрика находят из условия самоторможения для наиболее неблагоприятного угла поворота  $\beta = 90^\circ$ , при этом ход эксцентрика равен величине эксцентриситета ( $y = e$  (рис. 53, б)), и в закрепленном неподвижном эксцентрике возникает самый большой момент открепляющих сил относительно оси поворота

$$R = (e - r \cdot f' \sqrt{1 + f^2}) / f, \quad (6.41)$$



где  $f = 0,1-0,16$  – коэффициент трения между деталью и эксцентриком для полусухих поверхностей;  $f' = f \cdot 4/\pi = 0,13-0,2$  – приведенный коэффициент трения в приработанной вращательной паре ось–эксцентрик.

Принимают  $r \approx (0,24-0,3125)R$ , тогда самоторможение обеспечивается при  $R/e = 4,5-7,6$ , а для стандартных эксцентриков по ГОСТ 9061–68 это отношение еще больше:  $R/e = 9,41-10$ .

Размеры круглого эксцентрика  $R, B, r, e$  согласовывают с размерами стандартных эксцентриков по ГОСТ 9061–68. Длина рукоятки  $L$  в 5–6 раз больше  $R$ , угол расположения рукоятки  $\gamma = 45^\circ$  (рис. 53, а).

К недостаткам эксцентриковых зажимов относятся – ограниченный ход зажима, поэтому заготовку следует применять с небольшим допуском  $T$  на размер в месте закрепления.

У круглого эксцентрика угол подъема его кривой  $\alpha$  (рис. 54) не является постоянным на разных углах поворота  $\beta$ , из-за чего усилие зажима изменяется даже при одинаковой силе привода  $P$ .

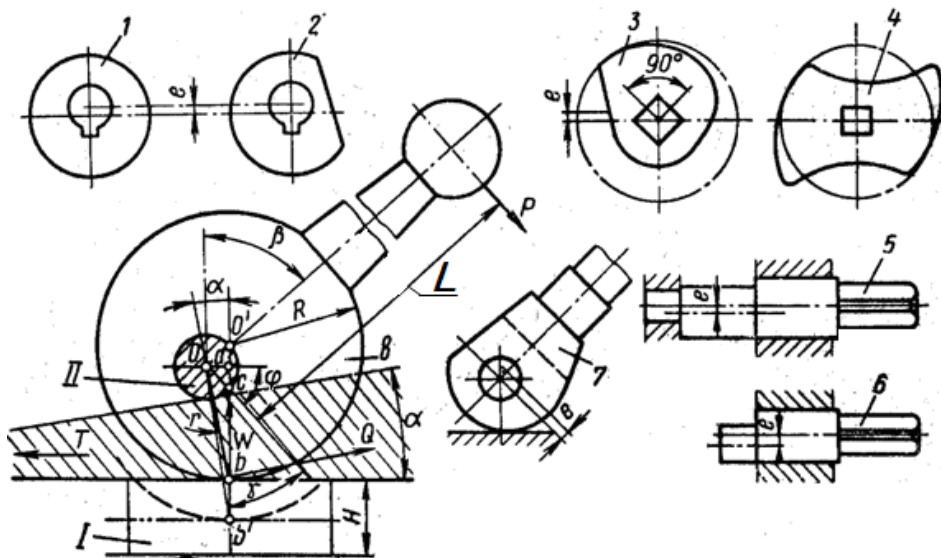


Рис. 54. Виды эксцентриковых зажимных устройств

В отличие от круговых криволинейные эксцентрики (кулачки) с рабочей поверхностью, выполненной по логарифмической спирали

$$\rho = C \cdot e^{b \cdot \theta}, \quad (6.42)$$

или по спирали Архимеда (6.43) имеют постоянный угол подъема  $\alpha$  рабочей поверхности

$$\rho = b \cdot \theta, \quad (6.43)$$

где  $\rho$  – радиус-вектор кулачка;  $C$  – константа;  $e$  – основание натурального логарифма;  $b$  – коэффициент пропорциональности;  $\theta$  – полярный угол.

Построение рабочих профилей таких кулачков подробно объясняется в [6, с. 48–50].

## 6.12. Определение силы привода для кругового эксцентрика

Эксцентрикковые зажимные устройства (рис. 54), основными элементами которых являются круглые или криволинейные кулачки (1, 2, 3, 4, 7, 8) и кулачковые валики (5, 6), широко распространены. Закрепление с их помощью выполняется значительно быстрее, чем винтовыми зажимами, но применение эксцентриков более ограничено. Эксцентрикковые зажимы хорошо работают только при незначительных отклонениях размеров поверхностей под закрепление и при отсутствии вибраций в процессе обработки.

Круглые эксцентрики широко используются в зажимных устройствах оснастки, так как они просты в изготовлении. Их недостатки: самотормозящие свойства изменяются с углом поворота, и малый угол поворота, который всегда меньше  $180^\circ$  (на  $20\text{--}30^\circ$ ). Поэтому иногда применяют криволинейные эксцентрики. Их самотормозящие свойства не зависят от угла поворота, который может быть больше  $180^\circ$ . Рабочую поверхность таких эксцентриков выполняют по эвольвенте или спирали Архимеда.

В справочниках [1], [7] приводят зависимость момента на рукоятке эксцентриккового зажима от силы закрепления

$$M = W \cdot r [\operatorname{tg}(\alpha + \varphi_1) + \operatorname{tg}\varphi_2], \quad (6.44)$$

где  $M$  – момент на рукоятке;  $W$  – сила закрепления заготовки;  $r$  – расстояние от центра вращения до точки зажима (радиус-вектор);  $\alpha$  – угол подъема кривой эксцентрика;  $\varphi_1$  – угол трения на поверхности зажима;  $\varphi_2$  – угол трения на оси эксцентрика.

Для использования формулы (6.44) необходимо знать значения  $W$ ,  $r$  и  $\alpha$  или диапазоны их изменения, что неудобно в проектных расчетах, для круговых эксцентриков, где  $r$  и  $\alpha$  являются переменными.

В процессе закрепления и открепления эксцентрика (рис. 55) на него действуют силы:  $P$  – привода;  $W$  – закрепления заготовки;  $F$  – трения между заготовкой и эксцентриком;  $S$  – реакция в опоре; сила трения на оси, производная от  $S$ , которая не обозначена, поскольку  $S$  проведена касательно к кругу трения с радиусом

$$\rho = r \cdot f',$$

где  $f'$  – приведенный коэффициент трения-вращения;  $r$  – радиус оси эксцентрика.

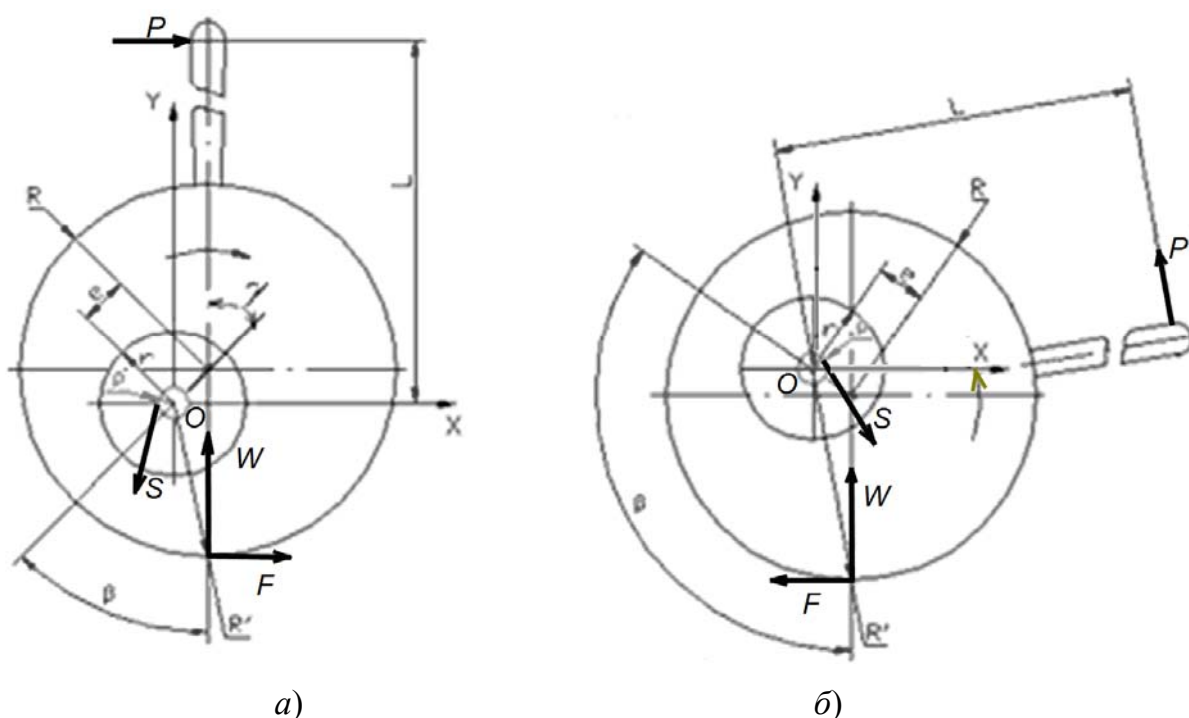


Рис. 55. Действие сил на круговой эксцентрик при:  
 а – закреплении; б – откреплении

Уравнение моментов при закреплении:

$$\sum M_{io} = 0; \quad -P \cdot L + F \cdot R'_y + W \cdot R'_x + S \cdot \rho = 0; \quad (6.45)$$

проекции радиуса-вектора  $R'$  на оси координат  $R'_y = R - e \cdot \cos\beta$ ;  $R'_x = e \cdot \sin\beta$ ;  $R$  – радиус эксцентрика;  $e$  – величина эксцентриситета;  $\beta$  – угол поворота эксцентрика от нулевого положения;  $L$  – длина рукоятки.

Для определения  $S$  составим систему уравнений (рис. 55, а) сил, действующих на эксцентрик, сразу после закрепления заготовки, без

воздействия силы привода  $P$ , так как она после создания  $W$  снимается с рукоятки:

$$\sum P_{ix} = 0; \quad F - S_x = 0; \quad S_x = F = W \cdot f;$$

$$\sum P_{iy} = 0; \quad W - S_y = 0; \quad S_y = W,$$

тогда  $S = \sqrt{S_x^2 + S_y^2}$ ; или  $S = W \sqrt{1 + f^2}$ .

Подставляя  $S$  в (6.45), получим:

$$P \cdot L = W \cdot f(R - e \cdot \cos \beta) + W \cdot e \cdot \sin \beta + r \cdot f' \cdot W \sqrt{1 + f^2};$$

или 
$$P \cdot L = W \left( f(R - e \cdot \cos \beta) + e \cdot \sin \beta + r \cdot f' \sqrt{1 + f^2} \right). \quad (6.46)$$

Сила привода при закреплении эксцентриком заготовки

$$P = \frac{W}{L} \left( f(R - e \cdot \cos \beta) + e \cdot \sin \beta + r \cdot f' \sqrt{1 + f^2} \right). \quad (6.47)$$

Формула для наибольшей силы закрепления круглым эксцентриком вручную при допустимой силе ручного привода  $[P_{пр}] \leq 147 \text{ Н}$

$$W = \frac{147 \cdot L}{f(R - e \cdot \cos \beta) + e \cdot \sin \beta + r \cdot f' \sqrt{1 + f^2}}. \quad (6.48)$$

Определим силу открепления ( $P'$ ) ЭЗМ. При откреплении заготовки на эксцентрик действуют моменты (рис. 55, б):

$$P' \cdot L + W \cdot R'_x - F \cdot R'_y - S \cdot \rho = 0;$$

с учетом схемы сил на рис. 55, б и формул приведения тригонометрических функций:

$$R'_y = R + e \cdot \cos(180^\circ - \beta) = R - e \cdot \cos \beta;$$

$$R'_x = e \cdot \sin(180^\circ - \beta) = e \cdot \sin \beta;$$

$$P' \cdot L = W \cdot f(R - e \cdot \cos \beta) - W \cdot e \cdot \sin \beta + r \cdot f' \cdot W \sqrt{1 + f^2};$$

$$P' = \frac{W}{L} \left( f(R - e \cdot \cos \beta) - e \cdot \sin \beta + r \cdot f' \sqrt{1 + f^2} \right). \quad (6.49)$$

Формула силы привода  $P'$  для открепления круглого эксцентрика (6.49) дает меньшее значение, чем формула (6.47). Однако, по-

скольку при откреплении преодолевают силы «трения покоя», которые могут превышать силы трения при движении до 25 %, то в итоге  $P'$  может быть меньше, больше или равна  $P$  в зависимости от значений входящих переменных.

Длину рукоятки при закреплении-откреплении вручную с нормативной силой привода ( $[P_{пр}] = 147 \text{ Н}$ ), можно определить по формуле

$$L = \frac{W}{147} \left[ f(R - e \cdot \cos \beta) + e \cdot \sin \beta + r \cdot f' \sqrt{1 + f^2} \right]. \quad (6.50)$$

### 6.13. Мембранные патроны

Мембранные патроны используют для точного центрирования заготовок по наружной или внутренней цилиндрической поверхности (рис. 56).

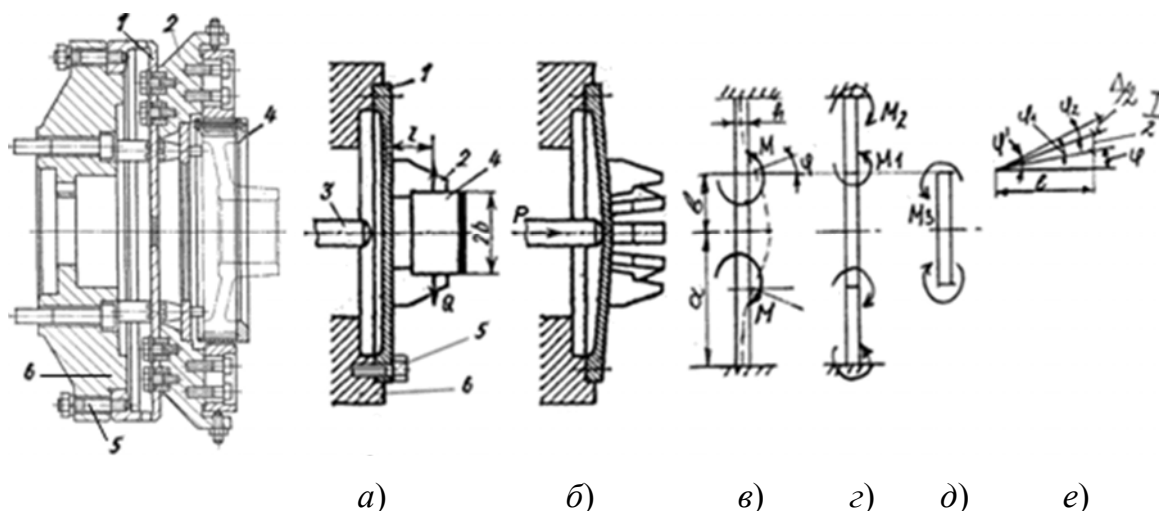


Рис. 56. Мембранный патрон и расчетные схемы

Они состоят из привертываемой винтами 5 к планшайбе 6 станка пластины (мембраны) 1 с симметрично расположенными кулачками 2, число которых 6–12. Внутри на пластину воздействует шток 3, который, двигаясь при включении вперед, прогибает мембрану и раздвигает ее кулачки. При отходе штока назад пластина выпрямляется и сжимает кулачками заготовку 4. Материал мембраны – сталь 65Г, 30ХГС, У7А, закаленная до твердости HRC 40–45. Мембранные патроны обеспечивают точность центрирования 3–5 мкм. Базирующие поверхности кулачков шлифуют на месте.

Исходными данными для расчета являются: момент резания  $M_{рез}$ , стремящийся провернуть заготовку в кулачках патрона; диаметр закре-

пления заготовки, равный  $2b$ , расстояние  $l$  от середины кулачков до средней плоскости мембраны; число кулачков  $n$ . Коэффициент трения между заготовкой и кулачками  $f = 0,15-0,18$ .

После определения коэффициента запаса  $K$  в зависимости от условий выполнения операции можно определить радиальную силу  $Q$  на одном кулачке:

$$K \cdot M_{\text{рез}} = Q \cdot b \cdot f \cdot n, \quad Q = K \cdot M_{\text{рез}} / (n \cdot b \cdot f). \quad (6.51)$$

Силы  $Q$  создаются моментом  $M$ , изгибающим мембрану. При большом числе кулачков момент  $M$  можно представить равномерно распределенным по окружности радиусом  $b$

$$M = Q \cdot n \cdot l / (2\pi \cdot b). \quad (6.52)$$

Круглую, заделанную по контуру мембрану можно считать нагруженной равномерно распределенным по concentрической окружности радиусом  $b$  моментом  $M$ . Влиянием растяжения и сжатия срединной плоскости пластины можно пренебречь. Расчетную схему можно представить как на рис. 56, в.

Эта схема может быть представлена как результат наложения двух типовых схем, показанных на рис. 56, г и д, причем

$$M = M_1 + M_3. \quad (6.53)$$

Моменты  $M_1$  и  $M_3$  для разных отношений  $m = a/b$  имеют значения в долях момента  $M$ , приведенные в табл. 16.

Таблица 16

Моменты  $M_1$  и  $M_3$  в долях момента  $M$

Отношение $m = a/b$	1,25	1,5	1,75	2,0	2,25	2,5	2,75	3,0
$M_1$	0,785	0,645	0,56	0,51	0,48	0,455	0,44	0,42
$M_3$	0,215	0,355	0,44	0,49	0,52	0,545	0,56	0,58

По размерам  $a$  и  $b$  находят отношение  $m$  и момент  $M_3$  как долю от  $M$ .

Толщину мембраны принимают  $h = (1/10-1/15)a$ .

Угол  $\varphi$  разжима кулачков в радианах для закрепления заготовки минимального диаметра определяют по формуле

$$\varphi = M_3 \cdot b / (D(1 + \mu)), \quad (6.54)$$

где

$$D = \frac{E \cdot h^3}{12(1 - \mu^2)}, \quad (6.55)$$

где  $\mu = 0,25-0,33$  – коэффициент Пуассона для стали.

Наибольший угол разжима кулачков  $\varphi' = \varphi + \varphi_1 + \varphi_2$ , где  $\varphi_1$  – угол разжима кулачков, учитывающий допуск  $T$  на диаметр заготовки;  $\varphi_2$  – угол разжима, обеспечивающий зазор  $\Delta$  для свободного закладывания заготовки в кулачки патрона по рис. 56, e:

$$\varphi' = \frac{l \cdot \operatorname{tg} \varphi + \frac{T}{2} + \frac{\Delta}{2}}{l} \quad (6.56)$$

или

$$\varphi' \approx \varphi + \frac{T}{2l} + \frac{\Delta}{2l}. \quad (6.57)$$

Величину  $\Delta$  можно определить  $\Delta = 0,0008 \cdot b + 0,02$  мм. (6.58)

Силу на штоке для прогиба мембраны на угол  $\varphi'$  (разжима кулачков) определяют по формуле

$$P = -\frac{4 \cdot \pi \cdot D \cdot \varphi'}{b \cdot \ln(b/a)} = -\frac{4 \cdot \pi \cdot D \cdot \varphi'}{b \cdot 2,3 \cdot \lg(b/a)}. \quad (6.59)$$

По величине силы  $P$  проверяют напряжение в мембране

$$\sigma_2 = \frac{3 \cdot P(1 + \mu)}{2 \cdot \pi \cdot h^2} \cdot \left( \ln(a/r_0) + \frac{r_0^2}{4 \cdot a^2} \right), \quad (6.60)$$

где  $r_0$  – радиус круга контакта штока и мембраны; обычно  $r_0 = (3-5)$  мм.

**Пример.** Определить силу на штоке  $P$  и напряжение в материале мембраны патрона, передающего момент  $M_{\text{рез}} = 2,2$  кН · см. Размеры патрона:  $b = 2,5$  см;  $a = 6,25$  см;  $l = 3$  см;  $h = 0,5$  см; число кулачков  $n = 12$ ; допуск на диаметр заготовки  $T = 0,02$  мм;  $f = 0,16$ ;  $K = 2,5$ ;  $\Delta = 0,02$  мм;  $E = 2,1 \cdot 10^5$  МПа =  $2,1 \cdot 10^7$  Н/см<sup>2</sup>.

*Решение.* Радиальную силу на одном кулачке определим по формуле (6.51):

$$Q = \frac{K \cdot M_{\text{рез}}}{n \cdot f \cdot b} = \frac{2,5 \cdot 2200}{12 \cdot 0,16 \cdot 2,5} = 1146 \text{ Н.}$$

Изгибающий момент, равномерно распределенный по окружности радиусом  $b$  по формуле (6.52):

$$M = \frac{Q \cdot n \cdot l}{2 \cdot \pi \cdot b} = \frac{1146 \cdot 12 \cdot 3,0}{2 \cdot 3,14 \cdot 2,5} = 2628 \text{ Н.}$$

Для  $m = \frac{a}{b} = \frac{6,25}{2,5} = 2,5$ ,  $M_3 = 0,545 \cdot M = 0,545 \cdot 2628 = 1432 \text{ Н.}$

Для нахождения  $P$  необходимо определить по формуле (6.55):

$$D = \frac{E \cdot h^3}{12(1 - \mu^2)} = \frac{2,1 \cdot 10^7 \cdot 0,5^3}{12 \cdot (1 - 0,3^2)} = 240385 \text{ Н} \cdot \text{см},$$

по (6.54) определяем:  $\varphi = M_3 \cdot b / (D(1 + \mu)) = \frac{1432 \cdot 2,5}{240385(1 + 0,3)} = 0,01146$ ,

по (6.56) определяем:

$$\varphi' = \frac{l \cdot \operatorname{tg} \varphi + T/2 + \Delta/2}{l} = \frac{3 \cdot 0,01146 \cdot 0,002/2 + 0,002/2}{3} = 0,0121 \text{ рад},$$

по формуле (6.59):

$$P = -\frac{4 \cdot 3,14 \cdot 240385 \cdot 0,0121}{2,5 \cdot \ln\left(\frac{2,5}{6,25}\right)} = -\frac{306551}{2,5 \cdot \ln 0,4} = \frac{-14621}{-0,916} = 15957 \text{ Н.}$$

Напряжение в мембране при радиусе поверхности касания  $r_0 = 0,4 \text{ см}$  по формуле (6.60):

$$\begin{aligned} \sigma_2 &= \frac{3 \cdot P(1 + \mu)}{2 \cdot \pi \cdot h^2} \cdot \left( \ln(a/r_0) + \frac{r_0^2}{4 \cdot a^2} \right) = \\ &= \frac{3 \cdot 15957(1 + 0,3)}{2 \cdot 3,14 \cdot 0,5^2} \cdot \left( \ln(6,25/0,4) + \frac{0,4^2}{4 \cdot 6,25^2} \right) = \\ &= 108944 \text{ Н/см}^2 = 1089,44 \text{ Н/мм}^2 \approx 1089 \text{ МПа} \end{aligned}$$

(допускаемое напряжение для стали 60С2ХА  $[\sigma] = 1300 \text{ МПа}$ ).



## 6.14. Применение и расчет зажимных механизмов с гидропластом

Зажимные механизмы с гидропластом (гидропластмассой) применяются для создания одинаковых сил закрепления в разных точках зажима, точного центрирования по внутренней или наружной цилиндрической поверхности. При установке заготовок по отверстию эти зажимные механизмы называют оправками, а при установке по наружной базовой поверхности их называют патронами.

Зажимные механизмы с гидропластом обеспечивают точность центрирования 0,005–0,01 мм, если базовые поверхности заготовки выполнены с точностью по 6–8-му качеству. Материал упругих тонкостенных втулок в этих зажимных механизмах выбирается в зависимости от максимального напряжения по табл. 17.

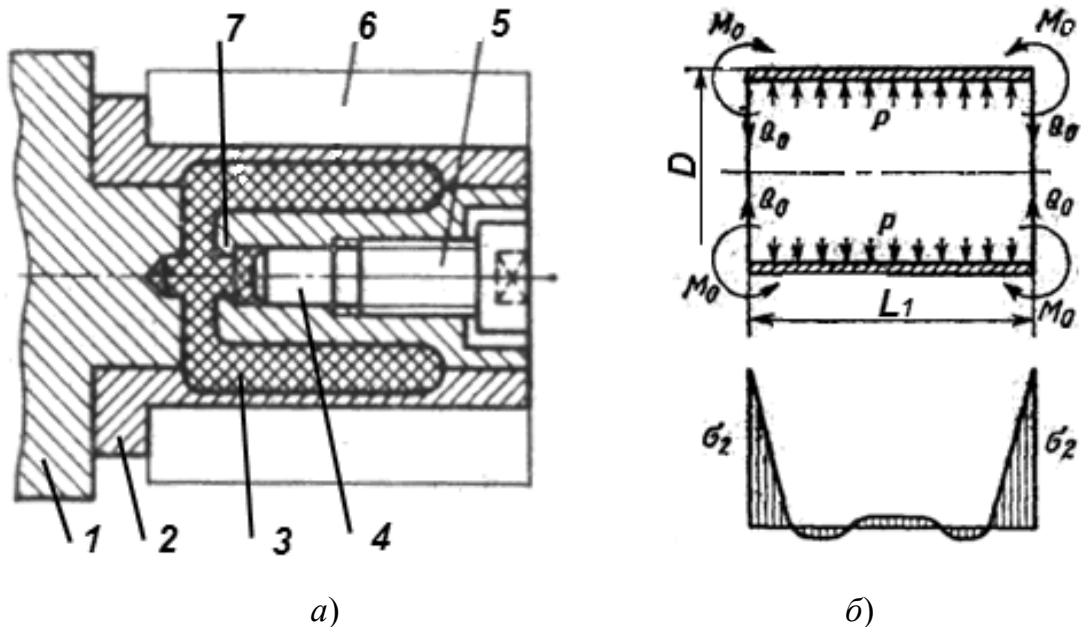


Рис. 57. Схема зажимного механизма с гидропластом

Таблица 17

### Материалы для изготовления тонкостенных втулок

$\sigma_{\max}$ , МПа	600	750	900	1300	1500
Марка стали	65Г	50ХФА	50С2	60С2ХА	60С2ХФА
	55ГС	50ХГФА	60С2	—	65С2ВА

Основные конструктивные параметры тонкостенных втулок и формулы для расчета приведены в табл. 18.

## Основные формулы для расчета упругих втулок

Втулки разжимные		Втулки охватывающие	
При $L < D$		При $L > D$	
Определяемое значение	Формула		
Толщина стенок $b$	при $\frac{L}{D}$	при $D$ , мм	
		20–50	50–150
	Больше 0,5	$b = 0,015 \cdot D + 0,5$ мм	$b = 0,025 \cdot D$
	0,25–0,5	$b = 0,01 \cdot D + 0,5$ мм	$b = 0,020 \cdot D$
	0,125–0,25	$b = 0,01 \cdot D + 0,25$ мм	$b = 0,015 \cdot D$
	Рекомендуется брать величину $b$ не менее 0,8–1,0 мм		
Высота рабочей полости, заполняемая гидропластом, $K$	$K = 2\sqrt[3]{D}$ мм		
Высота среднего пояса для длинных втулок, $S$	$S = K - (1-3)$ мм		
Допустимое изменение диаметра упругой втулки, $\Delta D$	$\Delta D = (0,002-0,0025)D$		
Давление $p$ , обеспечивающее необходимое изменение диаметра упругой втулки	$p = \frac{2,3 \cdot \Delta D \cdot E \cdot b}{D^2}$ кг/мм <sup>2</sup> , при $\Delta D = (0,002-0,0025)D$ и $E = 21000$ кг/мм <sup>2</sup> $p = (100-120) \frac{b}{D}$ кг/мм <sup>2</sup>		
Натяг при зажиме $i_{\text{нат}}$	$i_{\text{нат}} = \Delta D - \delta_{\text{наиб}}$ , где $\delta_{\text{наиб}}$ – наибольший диаметральный зазор между базовым отверстием детали и поверхностью упругой втулки (до зажима)		
Усилие зажима $P$ , противодействующее смещению заготовки	$P = 20000 \cdot b \cdot i_{\text{нат}} \sqrt{\frac{2 \cdot b}{D}}$ кг (все линейные размеры – в мм)		
Крутящий момент $M_{\text{к}}$ , передаваемый усилием зажима	$M_{\text{к}} = 10000 \cdot D \cdot b \cdot i_{\text{нат}} \sqrt{\frac{2 \cdot b}{D}}$ кг · мм (все линейные размеры – в мм)		
Диаметр зажимного плунжера $d$	при $\frac{L_1}{D}$	$d$ , мм	
	0,5–1,0	$1,8\sqrt{D}$	
	0,25–0,5	$1,5\sqrt{D}$	
	0,125–0,25	$1,2\sqrt{D}$	
Величина хода плунжера $h$ , необходимая для зажима	$h = \frac{2 \cdot \pi \cdot D \cdot L_1 \cdot \Delta D + 0,008 \cdot V}{\pi \cdot d^2}$ мм, где $V$ – объем гидропласта в мм <sup>3</sup>		

При закручивании винта 5 плунжер 4 сжимает гидропластмассу 3, которая равномерно во все стороны разжимает оболочку (тонкостенную часть) втулки 2 (рис. 57); 7 – ограничитель хода плунжера, предохраняющий от разрыва втулку. Вначале выбирается зазор (0,01–0,02 мм) между втулкой 2 и заготовкой 6, а затем заготовка оказывается сцентрированной и закрепленной на корпусе 1 силами давления гидропластмассы 3 через втулку 2 на заготовку 6.

Состав гидропластмассы в процентах по массе: полихлорвиниловая смола марки М (20 %), дибутилфталат (78 %), стеарат кальция (2 %), температура плавления 140°, температурный режим эксплуатации 5–60°. Сжатие гидропластмассы производит плунжер (притертый с корпусом с зазором 5–10 мкм), перемещаемый винтом, пневмоцилиндром или другим силовым агрегатом.

Диаметр базирующей поверхности втулки обычно выполняют по 6–7-му квалитету, гарантированный зазор для установки заготовки берут  $2\Delta = 0,01–0,03$  мм. При таких условиях напряжения в материале оболочки не превышают допустимые. Для обеспечения высокой точности центрирования толщина оболочки должна быть одинаковой, разностенность не должна превышать 0,05 мм. На концах втулка имеет утолщенные бурты, которыми она с натягом ( $H7/r6$  или  $H7/p6$ ) напрессовывается на корпус зажимного устройства.

Сила  $N$  для перемещения плунжера диаметром  $d$  определяется по формуле

$$N = p \cdot \pi \cdot d^2 / 4,$$

где  $p$  – давление, обеспечивающее необходимое изменение базирующего диаметра упругой втулки.

Втулку с принятыми размерами проверяют на прочность. Изнутри на втулку действует гидростатическое давление  $p$ , в местах заделки момент  $M_0$  и равномерно распределенная поперечная сила  $Q_0$  (нагрузка на единицу длины) (рис. 57, б).

Нормальные напряжения в осевом сечении определяют по формуле

$$\sigma_1 = \Delta D \cdot E / D,$$

где  $E$  – модуль упругости материала втулки;  $D$  – диаметр базирующей поверхности втулки.

Напряжения в местах напрессовки буртов втулки на корпус от действия момента  $M_0$

$$\sigma_2 = 6M_0 / b^2,$$

где  $b$  – толщина оболочки;  $M_0$  – момент, определяемый по формуле  $M_0 = p/2\beta^2$ ;  $\beta$  – определяется по формуле  $\beta = \sqrt[4]{12(1-\mu^2)/(D^2 \cdot b^2)}$ ;  $\mu$  – коэффициент Пуассона материала втулки.

Касательные напряжения, возникающие от крутящего момента  $M_k$ , передаваемого от обрабатываемой заготовки  $\tau = M_k / W_p$ , где  $W_p$  – полярный момент сопротивления втулки при кручении

$$W_p = 0,2(D_1^4 - d_1^4) / D_1,$$

$D_1$  – больший диаметр кольцевого сечения оболочки;  $d_1$  – меньший диаметр кольцевого сечения оболочки втулки.

Эквивалентное напряжение в сечении заделки буртов втулки

$$\sigma_{\text{экр}} = \sqrt{\sigma_2^2 + 3\tau^2}.$$

Обычно  $\sigma_{\text{экр}}$  в 1,5–2 раза больше  $\sigma_1$ . Для уменьшения  $\sigma_{\text{экр}}$  и  $\sigma_1$  переход от тонкой стенки втулки к буртику выполняют галтелью радиусом  $(1,5-2)b$ .

Напряжение во втулке при ее расширении под давлением  $p$  без установленной заготовки (это может случиться при холостом включении)  $\sigma_1 = p \cdot D / 2b$  не должно превышать  $0,7 \cdot \sigma_T$  материала втулки. В противном случае увеличивают значение  $b$  и производят повторный расчет.

## 6.15. Усилители клинового типа

Если клиновой механизм используют в качестве зажимного устройства с отключающимся приводом (ручной, пневматический), то для фиксации заготовки при непредвиденном отключении энергии угол клина должен быть самотормозящим (меньше  $10^\circ$ ). Если же этот механизм используют как усилитель, то для повышения КПД в нем применяют ролики, для замены трения скольжения на трение качения (рис. 58). Еще больше можно повысить КПД, если применить шариковые или роликовые подшипники.

Определим требующуюся силу привода  $P$  по известной силе  $W$  закрепления заготовки. На плунжер 4 (рис. 58, б) действуют: сила закрепления  $W$ , реакция от ролика 1  $R'_1$ , распределенные давления, перекашивающие плунжер в направляющей корпуса 5. Эти давления заменяем двумя сосредоточенными силами  $N_1$  и  $N_2$  (в центрах тяжести

эпюр распределенных давлений, расположенных друг от друга на расстоянии  $2l_1/3$ ), силы трения от них  $S_1 = f_{\text{п}} \cdot N_1$ ,  $S_2 = f_{\text{п}} \cdot N_2$  ( $f_{\text{п}}$  – коэффициент трения плунжера).

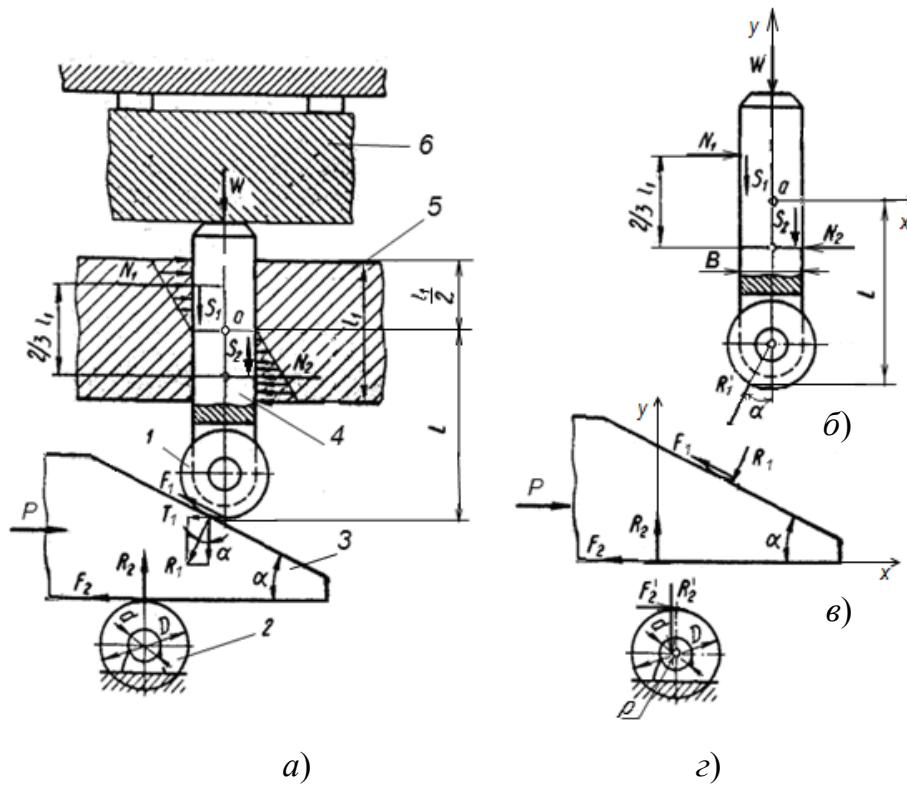


Рис. 58. Клиноплунжерный зажимной механизм с роликами

Для определения  $R'_1$  составим три уравнения:

$$\sum P_{Yi} = 0; \quad -W - S_1 - S_2 + R'_1 \cdot \cos \alpha = 0; \quad (6.61)$$

$$\sum P_{Xi} = 0; \quad N_1 - N_2 + R'_1 \cdot \sin \alpha = 0; \quad N_2 = N_1 + R'_1 \cdot \sin \alpha; \quad (6.62)$$

$$\sum Mi_0 = 0; \quad -N_1 \cdot l_1/3 - N_2 \cdot l_1/3 + R'_1 \cdot l \cdot \sin \alpha + S_1 \cdot B/2 - S_2 \cdot B/2 = 0; \quad (6.63)$$

подставляем (6.62) в (6.63) и сокращаем два последних слагаемых, приняв  $S_1 \frac{B}{2} \approx S_2 \frac{B}{2}$ ,

$$-N_1 \frac{l_1}{3} - (N_1 + R'_1 \cdot \sin \alpha) \frac{l_1}{3} + R'_1 \cdot l \cdot \sin \alpha = -2N_1 \frac{l_1}{3} + R'_1 \cdot \sin \alpha (l - \frac{l_1}{3}) = 0;$$

$$N_1 = R'_1 \cdot \sin \alpha (l - \frac{l_1}{3}) \frac{3}{2l_1} = R'_1 \cdot \sin \alpha (\frac{3l}{2l_1} - \frac{1}{2}). \quad (6.64)$$

Подставляем (6.64) в (6.62):

$$N_2 = R'_1 \cdot \sin \alpha \left( \frac{3l}{2l_1} - \frac{1}{2} \right) + R'_1 \cdot \sin \alpha = R'_1 \cdot \sin \alpha \left( \frac{3l}{2l_1} + \frac{1}{2} \right). \quad (6.65)$$

Преобразуем (6.61) с учетом  $S_1 = f_{\text{п}} \cdot N_1$ ,  $S_2 = f_{\text{п}} \cdot N_2$  и значений  $N_1$  и  $N_2$  по формулам (6.64) и (6.65):

$$-W - f_{\text{п}} \cdot R'_1 \cdot \sin \alpha \left( \frac{3l}{2l_1} - \frac{1}{2} \right) - f_{\text{п}} \cdot R'_1 \cdot \sin \alpha \left( \frac{3l}{2l_1} + \frac{1}{2} \right) + R'_1 \cdot \cos \alpha = 0;$$

$$W = R'_1 \cdot \cos \alpha - f_{\text{п}} \cdot R'_1 \cdot \sin \alpha \left( \frac{3l}{2l_1} - \frac{1}{2} + \frac{3l}{2l_1} + \frac{1}{2} \right) = R'_1 \left( \cos \alpha - f_{\text{п}} \cdot \sin \alpha \left( \frac{3l}{l_1} \right) \right),$$

$$R'_1 = W \frac{1}{\cos \alpha - f_{\text{п}} \cdot \sin \alpha \left( \frac{3l}{l_1} \right)}. \quad (6.66)$$

На клин 3 (рис. 58, в) действуют силы  $P$ ,  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $F_1$ ,  $F_2$ , при этом  $|R_1| = |-R'_1|$  для двух неизвестных  $R_2$  и  $P$  составим два уравнения:

$$\sum P_{Yi} = 0; \quad R_2 - R_1 \cdot \cos \alpha + F_1 \cdot \sin \alpha = 0; \quad F_1 = f_{k1} \cdot R_1;$$

$$R_2 = R_1 \cdot \cos \alpha - f_{k1} \cdot R_1 \cdot \sin \alpha; \quad R_2 = R_1 (\cos \alpha - f_{k1} \cdot \sin \alpha); \quad (6.67)$$

$$\sum P_{Xi} = 0; \quad P - F_1 \cdot \cos \alpha - F_2 - R_1 \cdot \sin \alpha = 0;$$

$$P = F_2 + F_1 \cdot \cos \alpha + R_1 \cdot \sin \alpha;$$

подставим вместо  $F_2 = R_2 \cdot f_{k2}$  и (6.67) вместо  $R_2$ , а вместо  $F_1 = R_1 \cdot f_{k1}$  ( $f_{k1}, f_{k2}$  – коэффициенты трения качения роликов 1 и 2), тогда:

$$\begin{aligned} P &= f_{k2} \cdot R_1 (\cos \alpha - f_{k1} \cdot \sin \alpha) + f_{k1} \cdot R_1 \cdot \cos \alpha + R_1 \cdot \sin \alpha = \\ &= R_1 (f_{k2} \cdot \cos \alpha - f_{k2} \cdot f_{k1} \cdot \sin \alpha + f_{k1} \cdot \cos \alpha + \sin \alpha) = \\ &= R_1 (\cos \alpha (f_{k2} + f_{k1}) + \sin \alpha (1 - f_{k1} \cdot f_{k2})). \end{aligned} \quad (6.68)$$

Для определения коэффициентов трения качения рассмотрим схему сил на ролике 2 (рис. 58, г):

$$\sum M_i = 0; \quad R'_2 \cdot \rho - F'_2 \frac{D}{2} = 0; \quad R'_2 \frac{d}{2} f' = R'_2 \cdot f_{k2} \frac{D}{2}, \quad f_{k2} = f' \frac{d}{D},$$

где  $f'$  – приведенный коэффициент трения для приработанной вращательной пары скольжения (ось-ролик);  $D$  – диаметр ролика;  $d$  – диаметр оси ролика.

С учетом (6.66) уравнение (6.68) примет вид

$$P = W \frac{\cos \alpha (f_{k1} + f_{k2}) + \sin \alpha (1 - f_{k1} \cdot f_{k2})}{\cos \alpha - f_{\pi} \cdot \sin \alpha (3l/l_1)},$$

разделив на  $\cos \alpha$  числитель и знаменатель, получим формулу

$$P = W \frac{f_{k1} + f_{k2} + \operatorname{tg} \alpha (1 - f_{k1} \cdot f_{k2})}{1 - f_{\pi} \frac{3l}{l_1} \operatorname{tg} \alpha}. \quad (6.69)$$

Для механизма с роликом и клином, скользящим по плоскости:

$$P = W \frac{f' \frac{d}{D} + f_2 + \operatorname{tg} \alpha (1 - f' \frac{d}{D} f_2)}{1 - f_{\pi} \frac{3l}{l_1} \operatorname{tg} \alpha}, \quad (6.70)$$

где  $f_2$  – коэффициент трения скольжения для материалов клина и корпуса.

Для механизма без роликов

$$P = W \frac{f_1 + f_2 + \operatorname{tg} \alpha (1 - f_1 \cdot f_2)}{1 - f_{\pi} \frac{3l}{l_1} \operatorname{tg} \alpha}, \quad (6.71)$$

где  $f_1$  – коэффициент трения между клином и плунжером;  $f_2$  – коэффициент трения между корпусом и клином;  $f_{\pi}$  – коэффициент трения между плунжером и корпусом.

## 6.16. Выбор материалов и расчет оснастки на прочность

Материалы для деталей оснастки выбирают по условиям работы и эксплуатационным требованиям, предъявляемым к деталям.

К установочным элементам приспособлений предъявляют требования точности, прочности, жесткости и износостойкости.

К зажимным элементам предъявляют требования прочности, жесткости, надежности.

Корпусы должны обладать высокой прочностью, жесткостью для длительного сохранения точности расположения рабочих поверхностей, а также способностью гасить возникающие вибрации.

Перечисленные требования обеспечиваются конструкцией и размерами деталей оснастки, но часто износостойкость, прочность и же-

сткость элементов и компактность конструкций зависят от правильного выбора конструкционных материалов, химико-термической и отделочной обработки.

Рекомендации по применению металлических и неметаллических материалов в оснастке, требуемая термическая и химическая обработка, достигаемая твердость и технологические свойства конструкционных материалов приводятся в таблицах справочников.

Покрyтия и химическую обработку применяют для улучшения эксплуатационных, защитных и декоративных свойств деталей оснастки. Применяют лакокрасочные, гальванические, химические и металлизированные покрyтия. В зависимости от условий эксплуатации деталей лакокрасочные покрyтия подразделяют на стойкие внутри помещений, атмосферостойкие, масло- и бензостойкие, водостойкие, электроизоляционные.

К гальваническим покрyтиям металлов относят меднение, хромирование, цинкование, кадмирование. Меднение используют для улучшения приработки поверхностей деталей, работающих в узлах трения скольжения, для уплотнения зазоров, уменьшения шума, защиты от коррозии и улучшения прирабатываемости зубчатых передач. Толщина слоя покрyтия 5–15 мкм.

Прочность деталей может характеризоваться рядом частных коэффициентов запаса или сравнением фактических и допустимых напряжений. Вероятностные расчеты на прочность по коэффициентам запаса используют в отдельных случаях для высокоответственных деталей машин и в исследованиях их надежности. Они более точные, но и более сложные и трудоемкие.

Расчеты по допустимым напряжениям менее точны, но значительно проще, доступнее, менее трудоемки, широко используются в инженерной практике.

С помощью этих расчетов решают две задачи:

1) определение размеров наиболее нагруженных (опасных) сечений деталей оснастки (предварительный проектный расчет);

2) проверка на прочность деталей принятых размеров путем сравнения фактических напряжений, возникающих в опасных сечениях, с допустимыми (проверочный расчет).

При решении этих задач используются основные формулы для определения напряжений:

$$\sigma = P/S; \quad (6.72)$$



$$\tau = P/S; \quad (6.73)$$

$$\sigma = M_{\text{и}} / W_{\text{и}}; \quad (6.74)$$

$$\tau = M_k / W_k, \quad (6.75)$$

где  $\sigma$  – нормальное напряжение растяжения или изгиба;  $\tau$  – тангенциальное напряжение;  $P$  – сила;  $S$  – площадь сечения;  $M_{\text{и}}$  – изгибающий момент;  $M_k$  – крутящий момент;  $W_k$  – полярный момент инерции сечения (сопротивления кручению);  $W_{\text{и}}$  – момент инерции (сопротивления) сечения изгибу.

Для решения первой задачи из формул площадей и их моментов сопротивлений для наиболее нагруженных сечений определяют размеры сечений элементов деталей, например:

– при растяжении детали с круглым сечением его диаметр определяют из формулы (6.72), а так как  $S = \pi \cdot d^2 / 4$ , то

$$d = 1,128 \sqrt{P/[\sigma]},$$

где  $[\sigma]$  – допустимое напряжение растяжения для материала детали;

– при воздействии перерезающей силы  $P$  диаметр круглого сечения детали из формулы (6.73) определяют

$$d = 1,128 \cdot \sqrt{P/(i \cdot [\tau_c])},$$

где  $i$  – число плоскостей среза;  $[\tau_c]$  – допустимое напряжение на срез для материала детали;

– при изгибе детали с круглым сечением его диаметр определяют из формулы (6.74), а так как  $W_{\text{и}} = \pi \cdot d^3 / 32$ , то

$$d = 2,168 \cdot \sqrt[3]{M_{\text{и}} / [\sigma_{\text{и}}]},$$

где  $[\sigma_{\text{и}}]$  – допустимое напряжение изгиба для материала детали;

– при кручении детали с круглым сечением его диаметр определяют из формулы (6.75), а так как  $W_k = \pi \cdot d^3 / 16$ , то

$$d = 1,72 \cdot \sqrt[3]{M_k / [\tau]},$$

где  $[\tau]$  – допустимое напряжение кручения для материала детали;

– при изгибе с кручением детали с круглым сечением его диаметр определяется из формулы (6.74), а так как  $W_{\text{и}} = \pi \cdot d^3 / 32$ , то

$$d = 2,168 \cdot \sqrt[3]{M / [\sigma_n]},$$

где  $M = \sqrt{M_n^2 + M_k^2}$  – эквивалентный момент для расчета диаметра опасного сечения.

При необходимости расчеты на прочность сварных соединений, пружин, подшипников, шпонок, шлицев, зубчатых передач, и других деталей следует выполнять по соответствующим справочным и литературным источникам.

## ГЛАВА 7. ВЫБОР МЕХАНИЧЕСКОГО ПРИВОДА

В технологической оснастке следует стремиться к замене ручного привода механизированным. К механизированным приводам относятся: пневматические, гидравлические, пневмогидравлические, магнитные, электромагнитные, электромеханические, центробежно-инерционные, от сил резания, от движущихся элементов станков.

### 7.1. Расчет пневмопривода

Пневматические приводы (рис. 59) могут быть поршневыми (*а*), диафрагменными (*б*), сильфонными (*в*) и вакуумными (рис. 60).

Поршневые и диафрагменные пневмоприводы подразделяются по схеме действия на одно- и двусторонние; по методу компоновки с приспособлением – прикрепленные, встроенные и агрегатированные; по виду установки – на стационарные и вращающиеся.

В пневмоцилиндрах применяются уплотнения: *1* – угловые манжеты L-образного сечения ГОСТ 6678–72, воротниковые манжеты U-образного сечения ГОСТ 6969–72 из маслостойкой резины для уплотнения поршней и штоков и кольца *2* круглого сечения ГОСТ 9833–73 для уплотнения поршней, штоков и неподвижных соединений. Срок службы уплотнений до 10 тыс. циклов (двойных ходов).

Пневмокамеры – это две литые или штампованные чашки, между которыми зажата диафрагма *3* из прорезиненной ткани (бельтинга) или резины. Срок службы диафрагм 0,6–1 млн циклов.

Сильфонный привод – это гофрированная замкнутая камера *4* из тонколистовой коррозионностойкой стали, латуни или фосфористой бронзы, упруго расширяемая под давлением сжатого воздуха в направлении рабочего хода штока *5*. Обратный ход осуществляется при подаче воздуха внутрь корпуса *6*. Сильфон уплотнений не требует.

Рабочий ход штоков пневмокамер или сильфонного привода ограничен возможной упругой деформацией диафрагмы или сильфона, а у пневмоцилиндров он может быть любым в пределах его длины.

Расчет пневмоприводов при заданных размерах сводится к определению развиваемой силы на штоке  $Q$ . Часто решается обратная задача, когда по заданной силе на штоке  $Q$  и известному давлению  $p$  в пневмомагистрали определяются размеры пневмопривода.

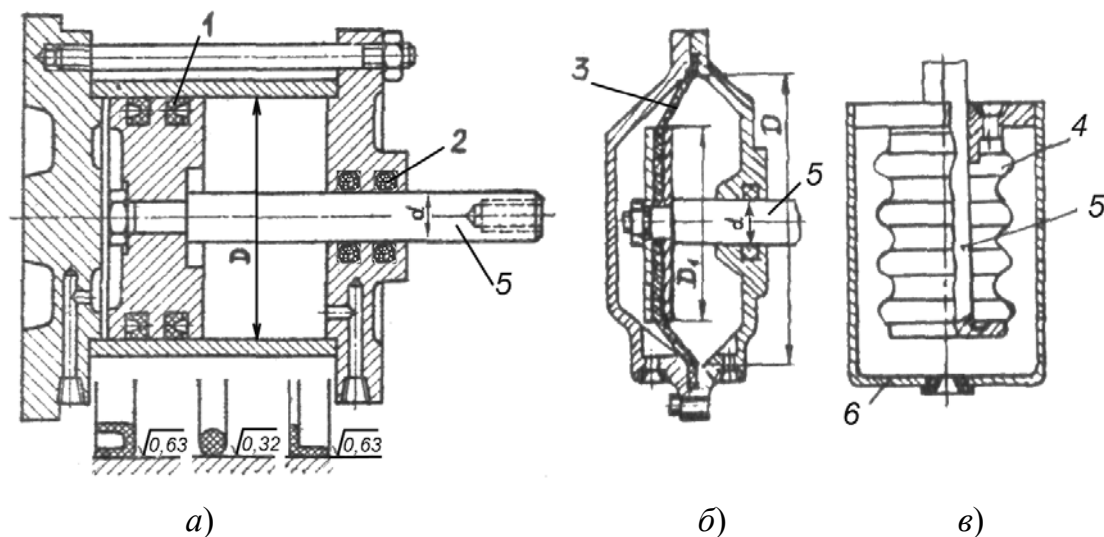


Рис. 59. Виды пневмоприводов

Силы на штоке 5 подразделяют на толкающие (шток работает на сжатие) и тянущие (шток растягивается) и определяют по формулам:

а) для привода одностороннего действия толкающая сила:

$$Q = \pi \cdot D^2 \cdot p \cdot \eta / 4 - P_{\text{п}};$$

б) для привода двухстороннего действия:

– толкающая сила  $Q = \pi \cdot D^2 \cdot p \cdot \eta / 4;$

– тянущая сила  $Q' = \pi(D^2 - d^2) \cdot p \cdot \eta / 4;$

в) для двоянного привода:

– толкающая сила  $Q = \pi(2 \cdot D^2 - d^2) \cdot p \cdot \eta / 4;$

– тянущая сила  $Q' = \pi(D^2 - d^2) \cdot p \cdot \eta / 2,$

где  $D$  – диаметр поршня пневмоцилиндра, мм;  $p$  – давление сжатого воздуха (обычно  $p = 0,4-0,6$  МПа);  $P_{\text{п}}$  – сила сопротивления возвратной пружины при крайнем рабочем положении поршня, Н;  $d$  – диаметр штока поршня пневмопривода, мм;  $\eta = 0,85-0,95$  – КПД (чем больше  $D$ , тем больше значение  $\eta$ ).

Для обратной задачи приведенные зависимости решаются относительно диаметра поршня или цилиндра  $D$ . При расчете по тянущему усилию  $Q'$  диаметр штока  $d$  можно выразить через  $D$  (обычно  $d = (0,325-0,545)D$ , причем чем больше  $D$ , тем меньшую его долю составляет  $d$ ).

В диафрагменных приводах рациональные длины  $L$  рабочих ходов можно принимать в следующих пределах:

$L = (0,25-0,35)D$  – для выпуклых (тарельчатых) диафрагм;

$L = (0,18-0,22)D$  – для плоских резинотканевых диафрагм (от штока –  $(0,12-0,15)D$  и  $(0,06-0,07)D$  в сторону штока);

$L = (0,35-0,45)D$  для плоских резиновых диафрагм, где  $D$  – рабочий диаметр диафрагмы.

Чем больше ход штока, тем меньше развиваемая на нем сила из-за сопротивления растягивающейся диафрагмы. Приблизительный расчет для силы на штоке пневмокамер:

– для резинотканевой диафрагмы в исходном положении  $Q = \pi(D - D_1)^2 \cdot p / 16$ ,  $D_1 \approx 0,7 \cdot D$  ( $D$  – рабочий диаметр (рис. 59, б));

– при ходе  $0,3 \cdot D$  для тарельчатых и ходе  $0,07 \cdot D$  для плоских диафрагм  $Q = 0,75 \cdot \pi(D - D_1)^2 \cdot p / 16$ ;

– для резиновой диафрагмы:

а) в исходном положении  $Q = \pi \cdot D_2^2 \cdot p / 4$ ;

б) при ходе  $0,22 \cdot D$   $Q = 0,9 \cdot \pi \cdot D_2^2 \cdot p / 4$ ,  $D_2 \approx D - 2 \cdot t - (2-4)$ , мм, где  $t$  – толщина диафрагмы.

## 7.2. Вакуумный привод

В вакуумном приводе используют разрежение воздуха под заготовкой для получения силы закрепления атмосферным давлением. Для создания разрежения применяются пневмоцилиндры или вакуумные насосы.

Наиболее удобно применение приспособлений с вакуумным приводом для обработки плоских тонкостенных заготовок из диамагнитных материалов. Обычно (рис. 60, а) на установочной поверхности корпуса 2 по контуру заготовки 1 выполняется специальная канавка, в которой размещается резиновая прокладка 4, которая выше глубины канавки. После создания разрежения в полости 3 заготовка 1 силой атмосферного давления деформирует прокладку 4 и прижимается к опорной поверхности приспособления. Применяются приспособления также с ленточными прокладками шириной 20 мм и толщиной 0,8–1,5 мм (рис. 60, б).

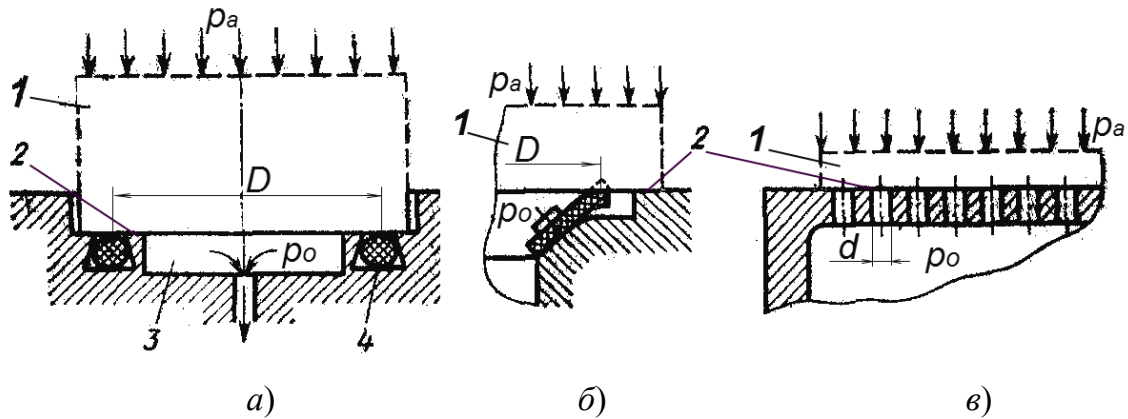


Рис. 60. Схемы создания силы закрепления в вакуумном приводе

Для закрепления плоских заготовок больших размеров используются вакуумные приспособления (рис. 60, в) в виде плит с хорошо обработанной рабочей поверхностью ( $R_a = 0,63-0,32$  с прямолинейностью 0,02 на длине 300 мм) и большим количеством отверстий диаметром  $d$ . Силу давления на заготовку  $Q$  в Н определяют

$$Q = (p_a - p_o)F \cdot k, \quad (7.1)$$

где  $p_a$  – атмосферное давление (0,1 МПа или 0,1013 МПа);  $p_o$  – остаточное давление после разрежения ( $p_o = 0,01-0,015$  МПа);  $F$  – активная площадь ( $\text{мм}^2$ )  $F = \pi \cdot D^2 / 4$ , или  $F = n \cdot \pi \cdot d^2 / 4$  ( $n$  – число отверстий диаметром  $d$  на установочной плоскости);  $k$  – коэффициент герметичности вакуумной системы  $k = 0,8-0,85$ .

Вакуумные приспособления проверяют на соответствие развиваемой силы  $Q$  условиям равновесия закрепленных заготовок, находящихся под действием сдвигающих сил при обработке с учетом коэффициента трения на поверхности контакта заготовки с приспособлением (если используется уплотняющая прокладка из резины  $f = 0,3-0,4$  для пары трения сталь–резина). Расчетное усилие закрепления  $W$  определяется из схемы действующих при обработке на заготовку сил, а затем принимается  $Q = K \cdot W$ , где  $K$  – коэффициент запаса;  $W$  – расчетное усилие закрепления заготовки.

По формуле (7.1) через площадь  $F$  определяют размеры привода.

### 7.3. Гидравлический привод

Гидравлический привод выполняют в виде поршневых устройств, приводимых в действие от отдельного (реже группового) насоса. Рабо-

чей жидкостью служит масло промышленное И-20А или И-40А. По сравнению с пневматическим гидравлический привод более компактный, так как давление масла доходит до 10 МПа и более.

Гидроцилиндры могут быть одно- и двустороннего действия.

На рис. 61, а представлена схема гидравлического зажимного устройства с цилиндром 2 двустороннего действия. Питание системы идет от насоса 4, который подает масло через золотник 1 (с ручным управлением) в левую или правую полость цилиндра. Клапан 3 регулируют на требуемое, для надежного закрепления заготовки, давление  $p$ . В гидроцилиндрах одностороннего действия возврат поршня производит пружина 6, расположенная на штоке (рис. 61, б).

В станочных приспособлениях применяются нормализованные встраиваемые гидроцилиндры двустороннего и одностороннего действия с диаметрами поршней 32, 40, 50, 60, 80, 100, 125 мм. Крепление гидроцилиндров в приспособлениях чаще всего производят при помощи резьбовой шейки 5 (рис. 61, б).

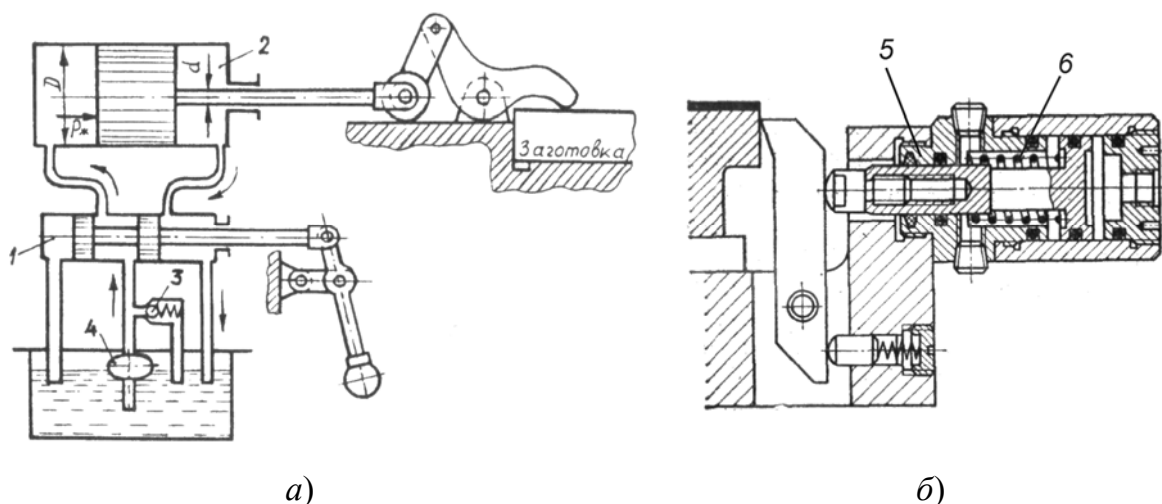


Рис. 61. Схемы зажимных устройств с гидравлическим приводом

Гидропривод в приспособлениях применяют или на гидрофицированных станках, или на станках, оснащенных индивидуальными насосными станциями высокого давления.

Исходные данные для расчета гидропривода:

- 1) требуемая сила на штоке  $Q$ , Н;
- 2) ход поршня  $L$ , мм;
- 3) давление жидкости  $p$ , МПа.

При заданном давлении  $p$  диаметр цилиндра (поршня)  $D$  можно определить из зависимостей для расчета сил на штоке  $Q$ :

– для цилиндров двустороннего действия:

– толкающая сила, обычно рабочий ход:  $Q = \pi \cdot D^2 \cdot p \cdot \eta / 4$ ;

– тянущая сила, обратный ход:  $Q' = \pi(D^2 - d^2)p \cdot \eta / 4$ ;

– для цилиндров одностороннего действия:  $Q = \pi \cdot D^2 \cdot p \cdot \eta / 4 - F_{\text{п}}$ ,

где  $D$  и  $d$  – диаметры поршня и штока, мм;  $\eta = 0,9-0,97$  – КПД;  $F_{\text{п}}$  – сила сопротивления возвратной пружины при крайнем рабочем положении поршня, Н.

Из приведенных зависимостей определяют диаметр поршня  $D$  (мм) для цилиндра двустороннего действия:

– с толкающей силой  $Q$  (рабочий ход):  $D = 1,128\sqrt{Q/(p \cdot \eta)}$ ;

– с тянущей силой  $Q'$  (обратный ход при отношении  $d/D = 0,5$ ):

$$D = 1,303\sqrt{Q'/(p \cdot \eta)}$$

– для цилиндров одностороннего действия:

$$D = 1,128\sqrt{(Q + F_{\text{п}})/(p \cdot \eta)}$$

#### 7.4. Пневмогидравлический привод

Пневмогидравлические зажимные устройства состоят из пневмопривода и гидравлического усилителя. Для питания используют сжатый воздух (с давлением  $p = 0,4-0,6$  МПа). При большом давлении масла в гидравлической части устройства ( $p_{\text{м}} = 8-10$  МПа и более) размеры рабочего цилиндра невелики.

Сжатый воздух из магистрали поступает в цилиндр 1 диаметром  $D$  (рис. 62, а). Шток поршня этого цилиндра диаметром  $d$  служит поршнем гидроцилиндра 2 (главный гидроцилиндр). Масло по трубопроводу 3 поступает во второй рабочий гидроцилиндр 4 диаметром  $D_1$ , шток которого связан с исполнительным механизмом зажима. Обратное движение поршней при отключении пневмомагистрали производят возвратные пружины 5 и 6. Резервуар 7 служит для подачи масла в систему в случае утечек.

Применяют конструкции пневмогидравлических усилителей, в которых возврат поршней в исходное положение выполняет сжатый воздух (рис. 62, б, в). В пневмогидравлических системах масло меньше нагревается и вспенивается, чем в насосных гидравлических системах. Потери энергии в них уменьшаются, они просты, дешевы и универсальны в применении, легко автоматизируются.

Исходные данные для проектирования: требуемая сила  $F_2$  на выходном штоке привода, давление сжатого воздуха  $p$  и диаметр  $D_1$  рабочего гидроцилиндра 4, подбираемый с учетом возможности размещения его в приспособлении.

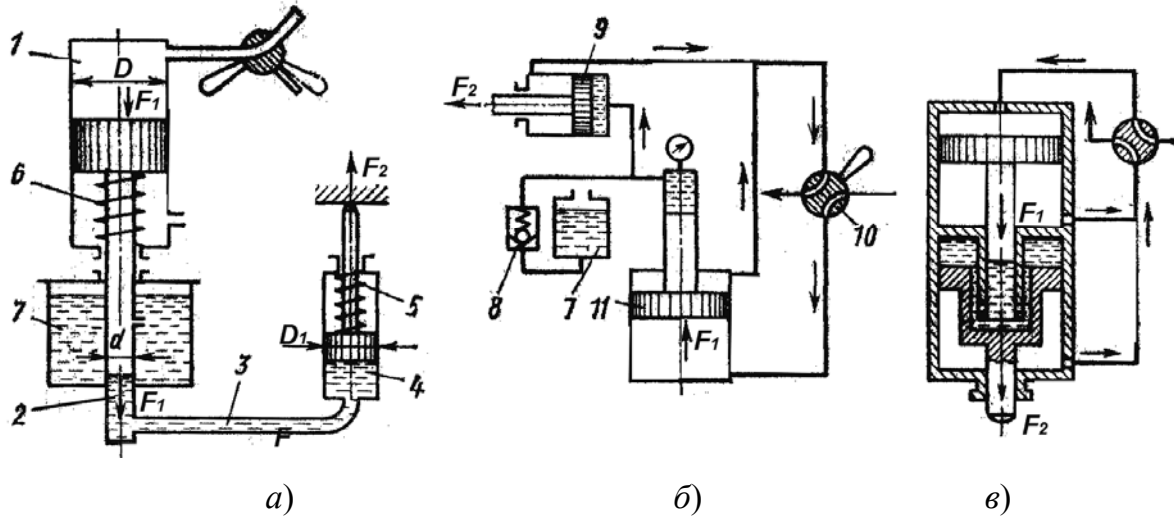


Рис. 62. Пневмогидравлические усилители

Из условия равновесия штока диаметром  $d$  (рис. 62, а), на который действуют одновременно и сила давления воздуха через поршень диаметром  $D$ , и сила давления масла на шток диаметром  $d$  в гидроцилиндре 2:

$$F_1 = \pi \cdot D^2 \cdot p / 4 = \pi \cdot d^2 \cdot p_m / 4; \quad p_m = p(D^2 / d^2) = p \cdot K_y,$$

где  $K_y = D^2 / d^2$  – коэффициент усиления;  $p_m$  – давление жидкости в гидросистеме, МПа.

Тогда сила  $F_2$  на штоке поршня гидроцилиндра 4:

$$F_2 = \pi \cdot D_1^2 \cdot p_m \cdot \eta / 4 = \pi \cdot D_1^2 \cdot p \cdot K_y \cdot \eta / 4,$$

где  $\eta = 0,8-0,85$  – общий КПД пневмогидравлического привода.

По приведенным формулам для существующих пневмогидроприводов с известными  $F_1$  и  $F_2$  для определения диаметра  $D$  пневмоцилиндра нужно из последнего уравнения выразить  $K_y$ :

$$K_y = D^2 / d^2 = 4 \cdot F_2 / (\pi \cdot D_1^2 \cdot p \cdot \eta); \quad D = 1,128 \cdot d \sqrt{F_2 / (p \cdot \eta)} / D_1,$$

где  $d$  – диаметр штока поршня пневмоцилиндра – поршня (плунжера) главного гидроцилиндра 2, мм.



Значение  $d$  можно принимать по соотношению  $d = (0,4-0,57) D_1$  (здесь  $D_1$  – диаметр рабочего гидроцилиндра). При  $d = 0,4 \cdot D_1$  последняя формула для расчета  $D$  принимает вид

$$D = 0,451 \sqrt{F_2 / (p \cdot \eta)}.$$

## 7.5. Магнитный привод

Магнитный привод имеет преимущество перед электромагнитным по электробезопасности работы и меньшей стоимости эксплуатации. Магнитные зажимные устройства представляют собой плиты, патроны (планшайбы) и призмы. Плиты (рис. 63, а) имеют постоянные магниты 1, изолированные немагнитными прокладками 2 и скрепленные с проставками 3 немагнитными связями (заклепками) в общий блок. Закрепляемая заготовка 4 является якорем, через который замыкается магнитный поток. Для открепления заготовки блок сдвигают с помощью кривошипного механизма 5 вдоль плиты. Магнитный поток при этом замыкается через корпус и крышку плиты, минуя заготовку.

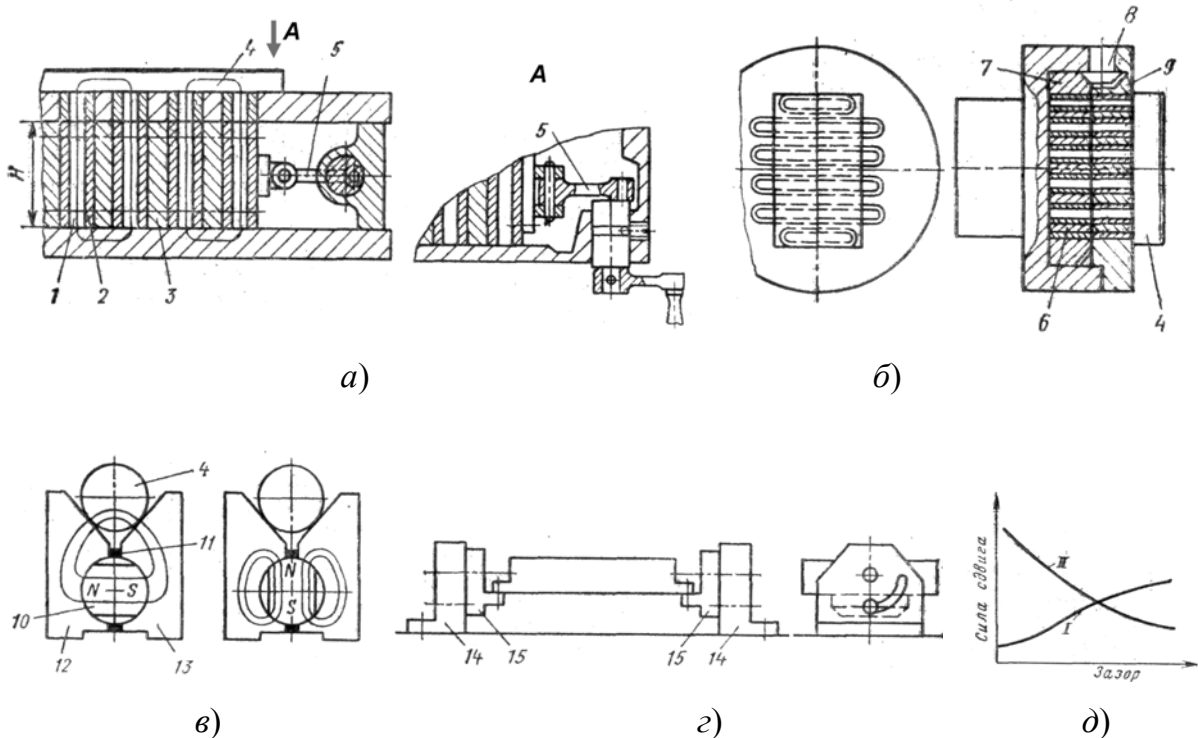


Рис. 63. Зажимные устройства с постоянными магнитами

Зазоры между магнитным блоком и его направляющими (по размеру  $H$ ) в корпусе и крышке выполняют минимально возможными (0,02–0,03 мм). При больших зазорах магнитные силы, действующие на блок сверху и снизу, не уравниваются и его трудно сдвигать. На рис. 63, *д* показана зависимость силы сдвига блока (кривая I) и силы, удерживающей заготовку (кривая II), от величины зазоров.

В магнитных патронах (рис. 63, *б*) магнитный блок *б* выполняют поворотного типа. Закрепление заготовки *4* происходит при таком положении блока, когда его полюса совпадают с полюсами крышки *9*. При повороте блока вокруг оси патрона его полюса выходят за расположение полюсов крышки, и магнитный поток замыкается через корпус и крышку. Поворот блока выполняют коническими зубчатыми колесами *7* и *8* при помощи ключа.

В магнитной призме (рис. 63, *в*) для закрепления цилиндрических заготовок *4* при горизонтальном положении поворотного магнита *10* магнитный поток проходит через обе щеки призмы, разделенные немагнитной перемычкой *11* и через заготовку *4*. При вертикальном положении магнита поток замыкается в корпусе призмы, и открепленную заготовку снимают.

Постоянные магниты изготавливаются из литых материалов ЮНД8, ЮНД45, ЮНДК35Т5БА по ГОСТ 17809–72. Применяют также плиты с керамическими и оксидно-бариевыми магнитами, получаемыми методом порошковой металлургии из окиси железа  $Fe_2O_3$  и углекислого бария  $BaCO_3$ . Они имеют большую удерживающую силу и малое расстояние между полюсами.

При определении сил закрепления магнитного привода следует учитывать, что современные приспособления с постоянными магнитами могут развивать при доведенной (притертой) базовой поверхности заготовки прижимную силу до 150 Н на 1 см<sup>2</sup> площади контакта заготовки с опорной поверхностью приспособления. С увеличением шероховатости заготовки прижимная сила уменьшается на 10–20 % при шлифованной базовой поверхности, при грубо шлифованной на 30–40 %, при грубо обработанной строганием на 50–70 %, при черновой (литой или штампованной) на 60–80 %.

## 7.6. Электромеханический привод

Электромеханические приводы представляют собой электродвигательные устройства с тарированными муфтами для создания требуемого крутящего момента. Эти приводы используются в гайковертах,

приспособлениях для токарно-револьверных и агрегатных станков, для закрепления винтовых зажимов приспособлений-спутников.

От электродвигателя 1 (рис. 64) через редуктор 2 и кулачковую муфту 3 вращение передается на шпиндель 6, который перемещает гайку 7 с тягой 8 зажимного устройства. При достижении крутящего момента, соответствующего необходимым силам зажима прихватом 11 установленными в призмах 9 заготовок 10, подвижная половина муфты 3 отходит вправо, сжимая тарировочную пружину 4, и шпиндель 6 перестает вращаться. При этом концевой выключатель КВ отключает электродвигатель 1.

Значение осевой силы на тяге 8 можно регулировать изменением предварительной затяжки пружины 4 гайкой 5. По моменту  $M$ , который должна развивать муфта 3 для получения необходимой силы ( $2 \cdot W$  – в представленном случае), можно рассчитать силу  $P_n$  предварительной затяжки пружины:

$$P_n = M / [r_{cp} \cdot \operatorname{tg}(\alpha + \varphi)],$$

где  $M$  – момент, передаваемый муфтой, Н · мм;  $r_{cp}$  – средний радиус кулачкового венца муфты, мм;  $\alpha$  – угол наклона рабочей поверхности зубьев муфты;  $\varphi$  – угол трения на поверхностях контакта зубьев.

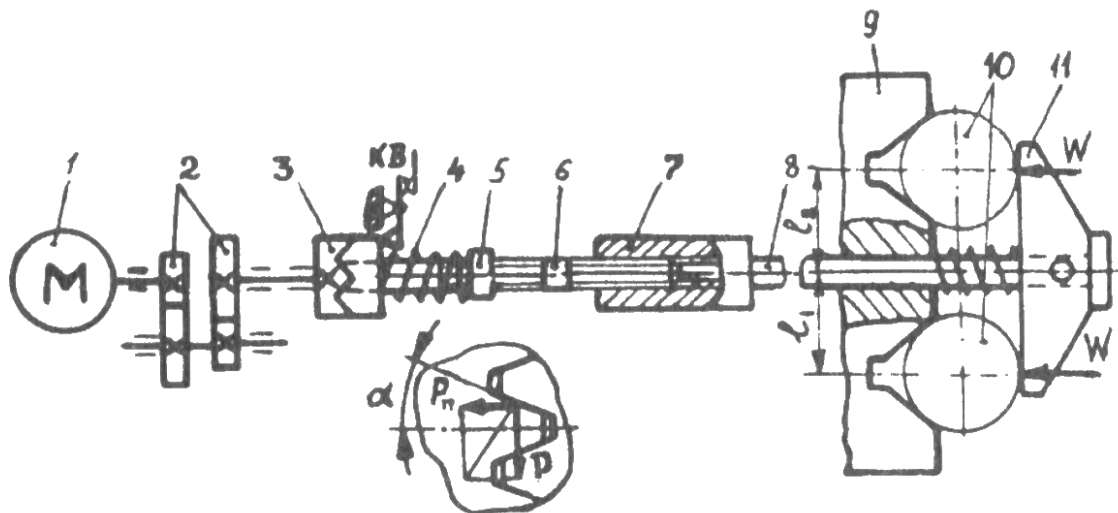


Рис. 64. Схема электромеханического привода

Требуемый крутящий момент  $M$  и диаметр винтовой передачи для обеспечения необходимой осевой силы на тяге 8 определяют по формулам для расчета винтовых зажимных механизмов.

## 7.7. Центробежно-инерционный привод

Центробежно-инерционный привод обычно используют на станках токарной группы при высокой частоте вращения шпинделя при обработке. Он не требует источника энергии, прост в изготовлении и эксплуатации, включается автоматически.

Обычно этот привод состоит (рис. 65) из корпуса 1, рычагов 5 с надетыми на их длинные плечи грузами 2. Короткие плечи рычагов связаны с тягой 6, приводящей в действие зажимное устройство приспособления, установленного на переднем конце шпинделя станка. Возвращение рычагов с грузами в исходное положение и открепление заготовки производят пружины 3, опирающиеся на корпус 1. Регулирование силы закрепления заготовки производят перемещением грузов 2 по длинным плечам рычагов 5.

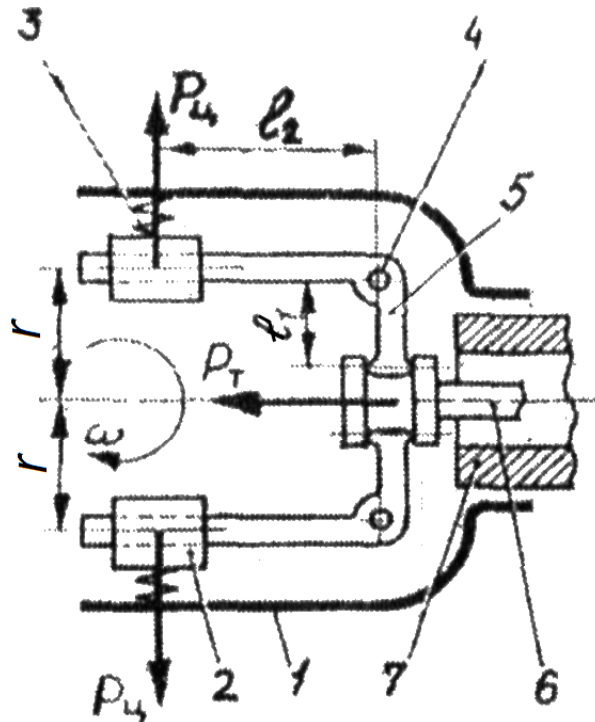


Рис. 65. Схема центробежно-инерционного привода

Силу тяги  $P_T$  можно рассчитать по формуле

$$P_T = n(m \cdot \omega^2 \cdot r - P_{\text{п}}) \eta \cdot l_2 / l_1,$$

где  $n$  – число грузов;  $m$  – масса одного груза, кг;  $\omega$  – угловая скорость вращения шпинделя, рад/с;  $r$  – радиус траектории вращения грузов, м;  $P_{\text{п}}$  – сила возвратной пружины, Н;  $l_1$ ,  $l_2$  – плечи рычагов, мм;  $\eta = 0,9-0,95$  – КПД зажимного механизма.

## ГЛАВА 8. ТИПОВЫЕ КОНСТРУКЦИИ ОСНАСТКИ

### 8.1. Основные конструкции оправок

Оправки предназначены для обработки деталей в виде тел вращения с центральными отверстиями (втулки, кольца, фланцы, стаканы, гильзы, зубчатые колеса) на токарных, круглошлифовальных, фрезерных, зубообрабатывающих, протяжных, отделочных станках. Они относятся к группе станочных приспособлений для установки заготовок.

По конструкции оправки разделяются на жесткие (цельные (см. рис. 17)) и регулируемые (разжимные (см. рис. 18)).

Таблица 19

Средние степени точности центрирования заготовок оправками

Вид оправки	Степень соосности	ГОСТ
Конические центровые	4–7	16212–70
Цилиндрические центровые:		
– гладкие	3–5	16211–70
– ступенчатые	4–6	16213–70
Цилиндрические для установки с натягом	2–4	
Зубчатые	4–6	18438–73
Кулачковые	8–10	17528–72
С тарельчатыми пружинами	8–9	
С упругими разжимными шайбами	4–9	
Гидропластовые и жидкостные с тонкостенной гильзой	3–5	
Цанговые	5–10	
С разрезными установочно-разжимными элементами	3–4	
С гофрированными втулками	1–3	

Жесткие оправки по форме рабочей поверхности подразделяются на конические и цилиндрические. Цилиндрические оправки могут быть для установки заготовок с зазором, с натягом (прессовые), шпоночные, шлицевые, резьбовые. К рабочим поверхностям оправок предъявляют требования точности, жесткости, прочности и износостойкости, как к установочно-зажимным элементам станочных приспособлений. Для обеспечения технологических требований оправки изготавливают из сталей У8–У12, ХВГ или из 20, 20Х (с цементацией поверхности на глубину 0,8–1,2 мм) и закалкой до твердости 58–64 HRC и шероховатостью  $Ra = 0,4–0,1$  мкм. Оправки с диаметрами  $D > 50$  мм могут изготавливаться полыми.

Регулируемые (разжимные) оправки подразделяются на кулачковые, с тарельчатыми пружинами, с упругими разжимными шайбами, зубчатые, гидропластовые, цанговые, с гофрированными втулками. Из табл. 19 следует, что наиболее точное центрирование при обработке обеспечивают оправки с гофрированными втулками, гидропластовые, с разрезными установочно-разжимными элементами (1–5 степени точности по ГОСТ 24643–81). Они используются для изготовления прецизионных деталей. Упругие разжимные элементы изготавливают из рессорно-пружинных сталей 55ГС, 65С2ВА.

По способу установки на станках оправки могут быть: центровые (установка в центрах), фланцевые (установка фланцами на столах), шпиндельные или консольные (установка хвостовиками в отверстия шпинделей станков).

## 8.2. Расчет конических оправок

Конические оправки могут быть с гладкой и шлицевой рабочей поверхностью для установки заготовок по гладким и шлицевым отверстиям при небольших силах резания. Базовые отверстия должны быть с точностью не меньше 9-го качества.

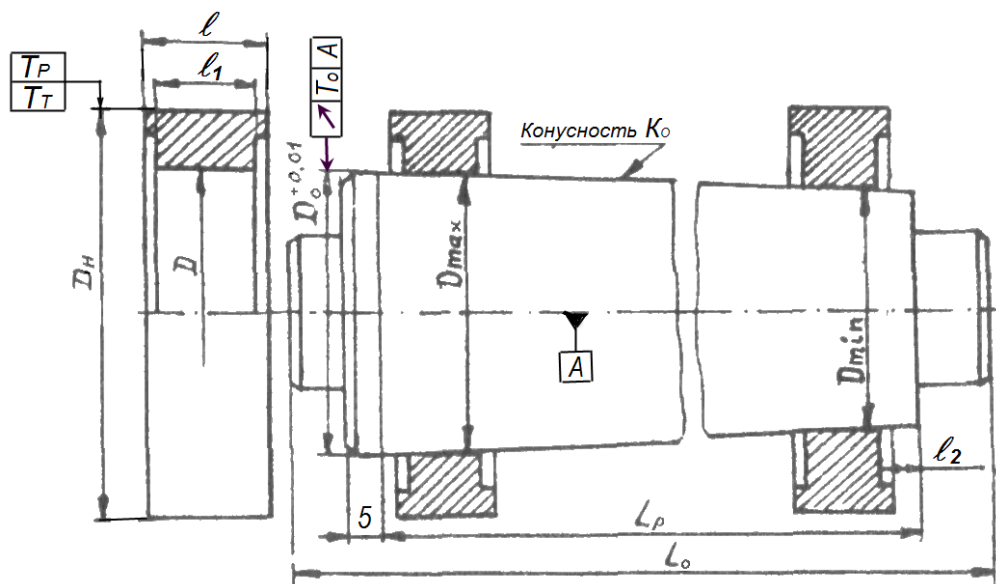


Рис. 66. Схема для расчета конической оправки

При базировании по наружному диаметру шлицевого отверстия внутренний диаметр оправки выполняют на 1 мм меньше внутреннего диаметра заготовки, а ширину шлицев оправки на 0,25–0,5 мм меньше ширины впадин шлицев заготовки.

Исходными данными для расчета конических оправок являются:  $D_{\max}$ ,  $D_{\min}$  – предельные диаметры базового отверстия заготовки;  $D_H$  – обрабатываемый диаметр заготовки;  $l_1$  – длина базового отверстия;  $l$  – длина обрабатываемой поверхности заготовки;  $T_P$  – допуск радиального биения по диаметру обработки  $D_H$ ;  $T_T$  – допуск торцового биения на диаметре  $D_H$ ;  $y$  – поперечное смещение заготовки от действия радиальной составляющей силы резания, мкм.

Значение  $y$  принимают по табл. 20 в зависимости от отношения  $L_0/D_0$  ( $L_0$  – длина оправки при установке в центрах или длина вылета консоли оправки при установке в гнездо шпинделя;  $D_0$  – наибольший диаметр оправки).

Таблица 20

**Поперечное смещение заготовки от действия радиальной составляющей силы резания, мкм**

$L_0/D_0$	1	2	3	4	5
$y_{\min}$	0,43	0,86	4,9	10,4	18,7

Расчет выполняют в такой последовательности:

1. Определяют максимальный диаметр оправки  $D_0 = D_{\max} + 0,02$  мм.
2. Определяют конусность оправки  $K_T$  по допуску торцового биения заготовки  $K_T = 2 \cdot T_T/D_H$ .
3. Определяют конусность оправки  $K_P$  по радиальному биению обрабатываемой поверхности:
  - для оправок с конусностью  $K_T \geq 1 : 1000$ ;  $K_P = (0,9 \cdot T_P - 2y) / l$ ;
  - для оправок с конусностью  $K_T \leq 1 : 1500$ ;  $K_P = (0,8 \cdot T_P - 2y) / l$ .
4. За конусность оправки  $K_0$  принимают меньшее из двух значений  $K_P$  и  $K_T$ , затем ее округляют до ближайших меньших значений из ряда: 1 : 500; 1 : 1000; 1 : 1500; 1 : 2000; 1 : 2500; 1 : 3000; 1 : 4000; 1 : 5000, для более точной обработки и для контрольных конических оправок применяют конусность 1 : 10000; 1 : 20000; 1 : 40000.
5. Рассчитывают рабочую длину оправки:  $L_P = (D_0 - D_{\min})/K_0 + l_P + l_2$ , где  $l_P$  – большее из ( $l$ ,  $l_1$ ) значение заготовки;  $l_2$  – запас длины конусной части оправки со стороны меньшего диаметра рекомендуется  $l_2 = 10$  мм при  $K_0 \geq 1 : 2000$ ;  $l_2 = 15$  мм при  $K_0 = 1 : 2500$ ;  $l_2 = 20$  мм при  $K_0 \leq 1 : 3000$ .
6. Диаметры и длины крайних нерабочих шеек (хвостовиков) выбирают исходя из конструктивных соображений.
7. Общая длина оправки  $L_0$  для обеспечения жесткости в зависимости от  $D_0$  не должна превышать значений из табл. 21.

Пределные длины жестких оправок, мм

$D_0$	10	15	20	25	35	45	55	65	80	> 80
$L_0$	80	100	150	200	250	350	410	480	530	580

Если длина  $L_p$  окажется больше указанных в табл. 21 значений  $L_0$ , следует прибегнуть к селективной подборке заготовок по диаметру отверстия и воспользоваться комплектом конических оправок.

8. Допуск радиального биения  $T_0$  конической оправки относительно оси принимают  $0,003 \leq T_0 < 0,1 \cdot T_p$ , а у особо точных оправок с конусностью  $K_0 \leq 1/10000$  принимают  $0,002 \leq T_0 < 0,2 \cdot T_p$ .

### 8.3. Расчет оправки для установки заготовки по отверстию с зазором

1. Выбирают гарантированный зазор  $z_c$  для свободной установки заготовки на оправку. Обычно  $z_c = 0$  для посадки H7/h6 при установке по окончательно обработанному отверстию.

Расчет  $z_c$  для более свободной установки производят исходя из требований к точности обработки после определения допустимых погрешностей установки  $[\varepsilon]_i$  по всем выдерживаемым параметрам точности. При этом для диаметральных размеров или размеров, заданных от оси базового отверстия, погрешности базирования будут равны наибольшему зазору в сопряжении базового отверстия с оправкой, а для соосности обрабатываемой поверхности с базовым отверстием половине этого зазора

$$z = T_3 + T_0 + z_c + T_{\text{и}}, \quad (8.1)$$

где  $z$  – наибольший зазор в сопряжении оправки с базовым отверстием;  $T_3$  – допуск на диаметр базового отверстия;  $T_0$  – допуск на диаметр рабочей поверхности оправки (обычно по h6);  $T_{\text{и}}$  – допуск на износ рабочей поверхности оправки,  $T_{\text{и}} = 0,01–0,02$  мм.

Приняв допустимую погрешность установки для соосности

$$[\varepsilon] = \sqrt{\varepsilon_0^2 + \varepsilon_3^2 + \varepsilon_{\text{пр}}^2} = 0,5 \cdot T = e, \quad (8.2)$$

где  $\varepsilon_0 = z/2$  – погрешность базирования по соосности;  $\varepsilon_3$  – погрешность закрепления (примем  $\varepsilon_3 = y$  – поперечному смещению заготовки под действием поперечной составляющей силы резания, которое опре-



деляют, как и для конических оправок по табл. 20);  $\varepsilon_{\text{пр}} = e_{\text{оп}}$  – погрешность приспособления, равная допуску соосности рабочей поверхности оправки центровым гнездам (принимается по 3–6 степени точности по ГОСТ24643–81);  $T = 2e$  – допуск соосности в диаметральном выражении обрабатываемой поверхности относительно оси базового отверстия;  $e$  – допуск соосности в радиусном выражении (эксцентриситет) обрабатываемой поверхности относительно оси базового отверстия.

Возведем в квадрат (8.2) и запишем  $(z/2)^2 + y^2 + e_{\text{оп}}^2 = e^2$ , или  $z = 2\sqrt{e^2 - y^2 - e_{\text{оп}}^2}$ , а с учетом (8.1)  $T_3 + T_0 + T_{\text{и}} + z_c = 2\sqrt{e^2 - y^2 - e_{\text{оп}}^2}$ , или

$$z_c = 2\sqrt{e^2 - y^2 - e_{\text{оп}}^2} - T_3 - T_0 - T_{\text{и}}. \quad (8.3)$$

Если по формуле (8.3) получится отрицательное значение, то обеспечить требуемую соосность обрабатываемой поверхности с базовым отверстием нельзя.

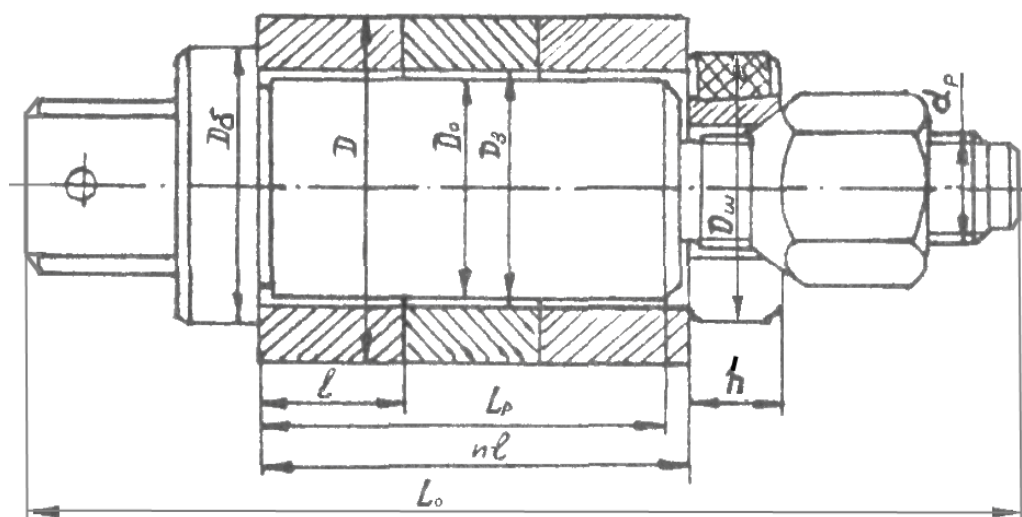


Рис. 67. Оправка для установки деталей по отверстию с зазором

2. Вычисляют номинальное значение диаметра  $D_0$  рабочей поверхности оправки  $D_0 = D_3 - z_c$ , где  $D_3$  – минимальный предельный диаметр базового отверстия (рис. 67).

3. Рассчитывают длину рабочей шейки оправки

$$L_p = n \cdot l - (1 - 5) \text{ мм},$$

где  $n$  – число заготовок, одновременно устанавливаемых на оправке;  $l$  – длина заготовки, мм.

4. Определяют наружные диаметры опорного бурта  $D_6$  и нажимной быстросменной шайбы  $D_{ш}$

$$D_6 = D_{ш} = D - 2 \cdot t - (2-5) \text{ мм},$$

где  $D$  – диаметр обрабатываемой поверхности заготовки, мм;  $2 \cdot t$  – припуск на обработку заготовки, мм.

5. Определяют толщину нажимной шайбы  $h \geq 0,2 \cdot D_6$ .

6. Рассчитывают силу зажима заготовки

$$Q = 3KM_p \frac{D_6^2 - D_3^2}{f(D_6^3 - D_3^3)},$$

где  $Q$  – необходимая сила закрепления заготовки;  $K$  – коэффициент запаса;  $M_p$  – момент сил резания относительно оси оправки;  $f$  – коэффициент трения между заготовкой и буртом оправки.

7. Определяют момент привода для закрепления гайкой в зависимости от формы ее нажимного торца (см. расчет винтовых зажимов).

8. Определяют диаметр резьбы  $d_p$  хвостовика и округляют в большую сторону до ближайшего стандартного значения. При этом должно выполняться условие:  $d_p \leq D_o - (0,2 - 0,3) \text{ мм}$ .

#### **8.4. Особенности конструкций приспособлений (кондукторов) для сверлильных станков**

Станки сверлильной группы предназначены для различной обработки отверстий вращающимися инструментами (сверлами, зенкерами, развертками и т. п.). Для обеспечения определенного положения осей обрабатываемых отверстий относительно тех или других поверхностей деталей необходимо точное направление инструмента в процессе обработки. Это направление обеспечивают специальные втулки, которые монтируются в приспособлении или перед местом, где должна быть произведена обработка отверстия или за тем местом заготовки, где отверстие предварительно уже обработано и требуется его последующая обработка (например, цекование или зенкерование после сверления). Кроме того, втулки могут быть расположены перед обрабатываемым отверстием и за ним, когда требуется повышенная точность положения его оси. Эти втулки называют кондукторными втулками.

Существуют стандартные и нормализованные конструкции кондукторных втулок (рис. 68):

– постоянные, запрессовываемые непосредственно в крышку или стенку корпуса приспособления, и удаляемые только при необходимости их замены в результате износа или повреждения (рис. 68, *а, б*);

– сменные (рис. 68, *в–е*) или быстросменные (рис. 68, *ж*) кондукторные втулки, которые вставляются в постоянные втулки и удерживаются винтами, для которых на буртике втулки создается углубление.

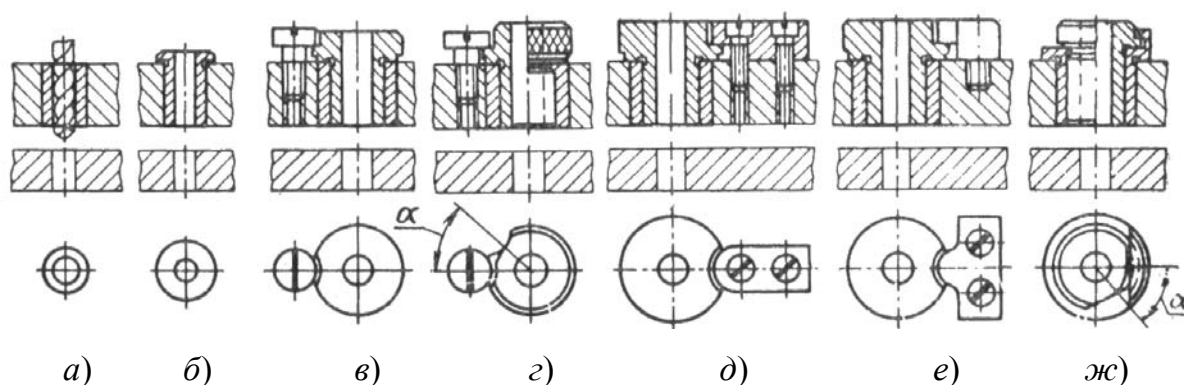


Рис. 68. Конструкции кондукторных втулок

Сменные втулки снимают только при необходимости замены их новыми. Быстросменные втулки часто снимают неоднократно при выполнении операций, состоящих из двух или трех переходов (рассверливания, развертывания, нарезания резьбы после сверления).

Для предотвращения отрыва головки винта при больших силах трения стружки о втулку ее крепят двумя винтами и специальной планкой (рис. 68, *д, е*).

Неподвижность постоянной втулки в корпусе приспособления обеспечивают посадки с натягом. Расстояние между заготовкой и торцом кондукторной втулки для выхода стружки обычно выполняют в пределах  $(0,35-1)d$  ( $d$  – диаметр отверстия во втулке).

Изготавливают кондукторные втулки из сталей У10А, У12А с последующей закалкой до твердости  $HRC\ 56-64$ , из сталей 20, 20Х с цементацией на глубину 0,8–1,2 мм и закалкой до  $HRC\ 56-60$  и из сталей ХВГ, ХГ с закалкой до  $HRC\ 56-60$ . Примерный срок службы таких втулок 15000 сверлений.

Если нельзя применить втулки стандартных размеров, применяют специальные втулки.

Иногда втулки помещают непосредственно в корпусе приспособления. Этим достигается точность обработки в таком приспособлении,

зависящая от точности изготовления втулок и от точности обработки отверстий для них. Однако для упрощения и удешевления изготовления приспособления (рис. 34, в), плиту 10 целесообразно изготавливать отдельно от корпуса и крепить ее к корпусу 1 винтами 14 с контрольными штифтами 15. Такие плиты называются постоянными.

Постоянные плиты иногда создают неудобства при установке и снятии заготовки. Поэтому вместо постоянных плит применяют шарнирные (откидные) плиты 3 (рис. 69, а). На одном конце такой плиты 3 сверлят отверстие для оси 4, относительно которой плита может быть повернута в положение, обеспечивающее легкий доступ к заготовке 6. Эта ось служит также опорой для кондукторной плиты. На втором конце плиты делают прорезь для откидного болта 8 с гайкой 1, которой плита прижимается к опорному элементу 2, укрепленному на корпусе 5. Для поджима заготовки к установочной плоскости откидной болт связан с шарнирным прихватом 7. Точность обработки заготовок в приспособлениях с откидными плитами из-за зазоров в шарнирах может быть ниже точности обработки в приспособлениях с постоянными плитами, а затраты на их изготовление выше.

Кроме откидных плит в производстве применяют съемные плиты, которые устанавливаются на корпусах приспособлений при помощи точно расположенных пальцев и укрепляются быстродействующими зажимами. Такие плиты могут обеспечивать такую же точность обработки, как и откидные, так как к погрешности установки детали добавляется погрешность установки плиты на пальцах.

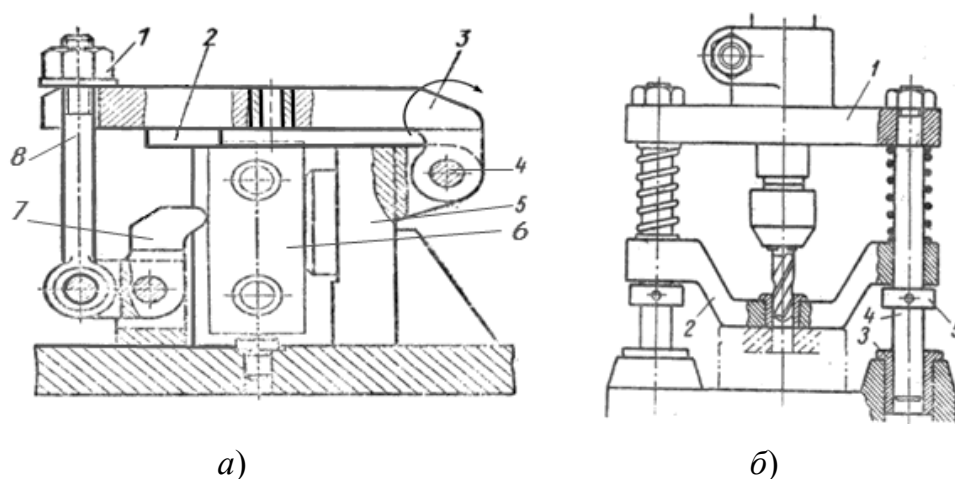


Рис. 69. Кондуктор с плитой: а – откидной; б – подвесной

Съемные плиты дают большую свободу доступа к заготовке, чем в приспособлениях с постоянными плитами, но снятие и установка их увеличивает вспомогательное время. Чтобы исключить эти не-

достатки, в крупносерийном и массовом производстве такие плиты 2 подвешивают к шпинделю станка, как и плиты многошпиндельных головок, и потому называют их подвесными (рис. 69, б).

Широко применяются приспособления с подъемными кондукторными плитами 7, которые постоянно связаны не со шпинделем станка, а с корпусом приспособления (рис. 70). Обычно подъемные плиты характерны для быстродействующих скальчатых кондукторов, которые могут быть установлены на любом станке, как для обработки с одним шпинделем, так и для многошпиндельной обработки.

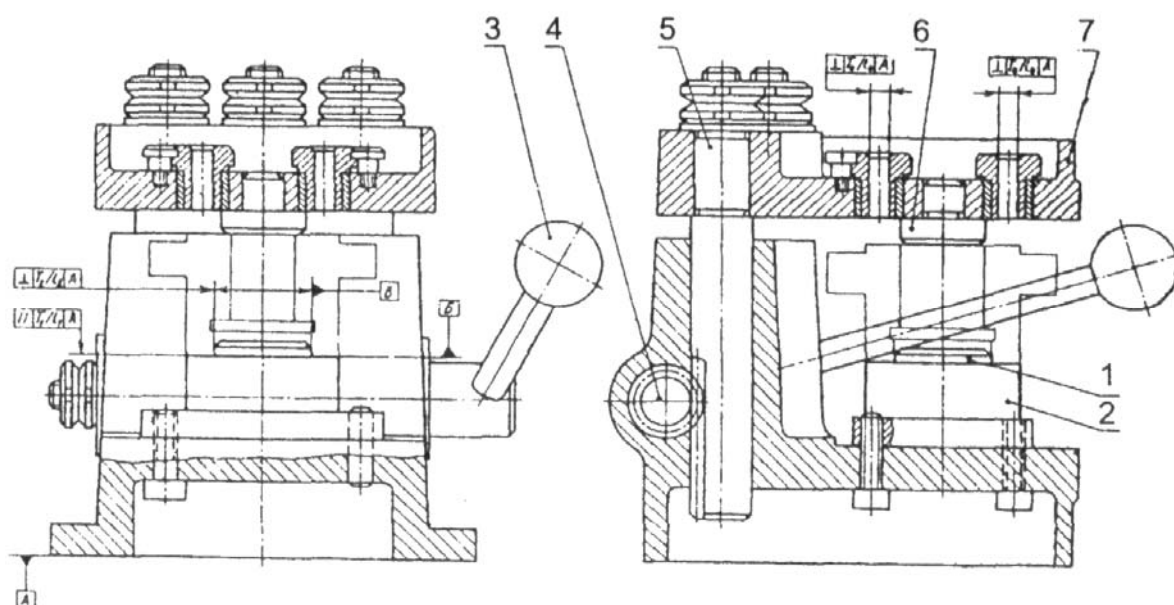


Рис. 70. Наладка скальчатого кондуктора для сверления отверстий во втулке

Во многих отверстиях заготовок нарезают резьбу, снимают конусные фаски на торцах, выполняют конусные или цилиндрические гнезда для головок винтов и т. п. Выполнять эти и другие виды работ при наличии кондукторных плит трудно, поэтому эти виды обработки во многих случаях выделяют в самостоятельные операции и выполняют их в приспособлениях типа тисков или центрирующих зажимных механизмов без кондукторной плиты, (см. рис. 71). Такие же приспособления применяются широко для первой обработки центрального отверстия в заготовке с установкой в самоцентрирующем зажимном механизме.

Для обеспечения точности направления кондукторные плиты должны быть жесткими. Толщина плиты определяется высотой кондукторной втулки и находится в пределах 15–30 мм. Для высоких

втулок на плите предусматривают местные утолщения. Жесткость плиты достигают при помощи ребер, отливаемых заодно с плитой или привариваемых к ней.

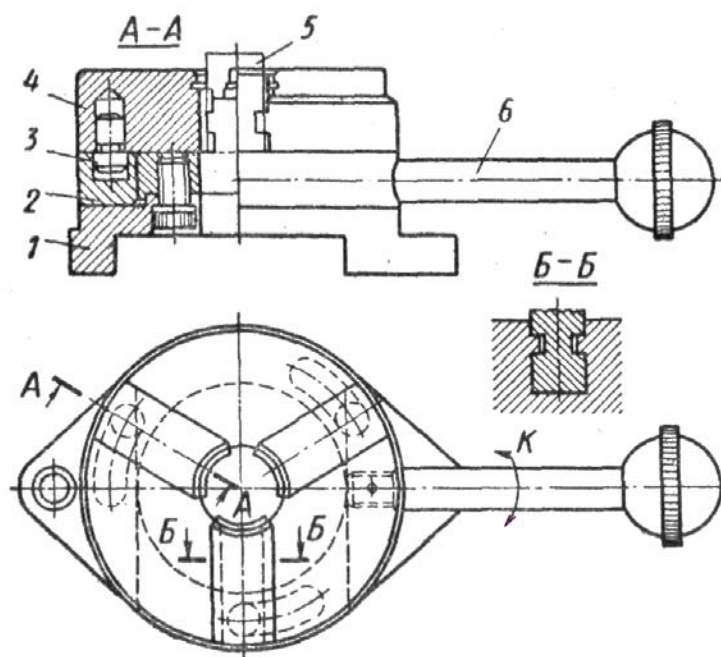


Рис. 71. Центрирующий зажимной механизм с эксцентричными пазами

Конструкции сверлильных приспособлений различаются не только устройством кондукторных плит. Существенным различием является также положение, занимаемое заготовкой в процессе всей операции. По этому признаку эти приспособления делятся на стационарные, передвижные, опрокидываемые (кантуемые) и поворотные. Отдельные приспособления могут сочетать в себе несколько таких признаков.

### 8.5. Приспособления для растачивания отверстий

При конструировании расточных приспособлений особое внимание следует обращать на выбор типа и метода направления инструмента, потому что при расточке отверстий, как ни в одном другом виде механической обработки направление режущего и вспомогательного инструмента зависит от конструкции приспособления. Конструирование приспособления без учета инструмента или инструмента без учета конструкции приспособления может привести к тому, что приспособление окажется непригодным для данной обработки.

Точность обработки отверстий на расточных станках зависит от жесткости инструмента и способа расположения его на станке.

Если оправка инструмента помещена консольно (рис. 72, а), расстояние между опорами оправки должно быть в пределах  $L = (1,5-5)l$ , а вылет  $l$  не должен превышать  $l \leq 5 \cdot d$ . Прогиб оправки  $y_a$

$$y_a = P \cdot l_a^3 / (3 \cdot E \cdot I).$$

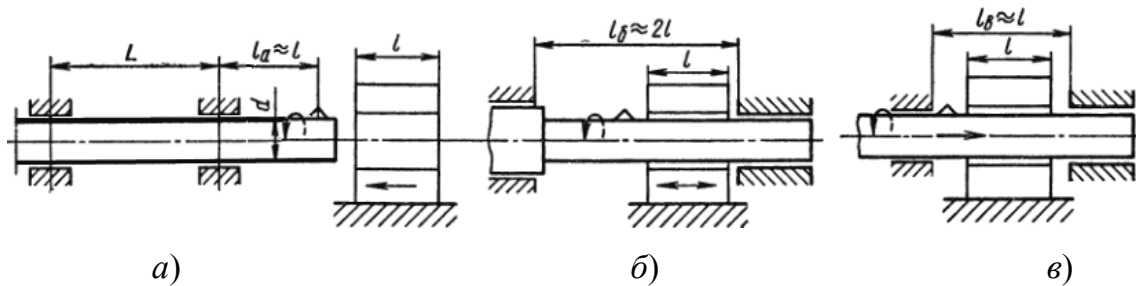


Рис. 72. Типовые схемы расточных операций

При расточке по схемам на рис. 72, б, в, т. е. при расположении резца между двумя опорами, максимальная стрела прогиба будет в середине между опорами и может быть определена по формуле для балки, опирающейся на две опоры:

$$y = P \cdot l^3 / (48 \cdot E \cdot I).$$

Поэтому для схемы (рис. 72, б) при  $l_б = 2l_a$  поперечное смещение резца

$$y_б = P(2l_a)^3 / (48 \cdot E \cdot I) = P \cdot l_a^3 / (6 \cdot E \cdot I),$$

т. е. в два раза меньше, чем для схемы, на рис. 72, а.

Для схемы (рис. 72, в) при  $l_в = l_a$  стрела прогиба для резца будет

$$y_в = P \cdot l_a^3 / (48 \cdot E \cdot I),$$

т. е. в 16 раз меньше, чем для схемы на рис. 72, а. Следовательно, во столько раз уменьшатся погрешности обработки, связанные с упругими отжатиями вершины резца.

Расточное приспособление должно обеспечивать требуемую точность обработки независимо от точности станка и от умения рабочего. Поэтому направляющие втулки для оправки должны находиться в самом приспособлении, а связь оправки со шпинделем станка должна быть плавающей.

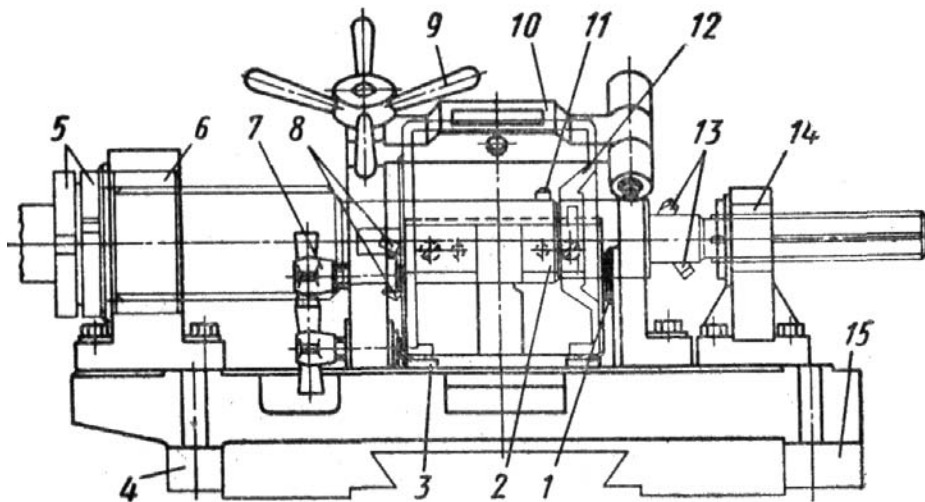


Рис. 73. Расточное приспособление к токарному станку

Иногда необходимо наладить обычные токарные станки для расточки одного или нескольких параллельных отверстий с применением направляющих втулок 6 и 14 для оправки 5 с резцами 13. В этих случаях поперечный суппорт снимают со станка, и рабочее приспособление 1 монтируют на продольной каретке 3. Для этого на площадках, предназначенных для крепления люнетов, крепятся два бруска 4 и 15, верхний уровень которых несколько выше выступа «ласточкин хвост» каретки. Эти бруски используют в качестве опор для расточного приспособления.

## 8.6. Инструменты и направляющие элементы расточных приспособлений

Обычно в качестве инструмента для расточных работ используют оправки, несущие индивидуальные резцы, двух- или многорезцовые блоки. В условиях серийного и массового производства наиболее распространено консольное расположение режущего инструмента, так как при обеспечении требуемой точности обработки обеспечивается быстрая замена оправки и режущего инструмента.

Замена инструмента на оправке необходима, когда отверстие, подлежащее обработке и расположенное во внутренних стенках заготовки, имеет больший диаметр, чем расположенное во внешних стенках. Поэтому более технологичными считают детали, в которых диаметры растачиваемых отверстий уменьшаются от внешней стенки к внутренней, так как при этом ступенчатое расположение инструментов на оправке позволяет производить обработку отверстий в несколь-



ких стенках одновременно. Одновременно можно обрабатывать и отверстия одинакового диаметра при их расположении на одной оси в нескольких стенках заготовки. В этом случае резцы помещают с одной стороны оправки и для ее ввода в необработанное отверстие заготовку приподнимают над опорами, а когда резцы пройдут входное отверстие, заготовку опускают на установочные элементы приспособления и закрепляют. Для этого в приспособлениях предусматривают соответствующий подъемный механизм. Замена расточного инструмента возможна путем последовательного использования системы оправок, расположенных в поворотном барабане, имеющем соответствующие кондукторные втулки для оправок и механизм, фиксирующий положение барабана при каждом рабочем переходе. Если станок одношпиндельный, то каждый из инструментов поочередно подключается к нему при помощи быстродействующего шарнирного патрона.

Направляющие элементы для расточного инструмента выполняют в виде неподвижных или вращающихся втулок. При вертикальной расточке глухих и относительно неглубоких отверстий инструмент направляется только с одной стороны заготовки. Чем глубже отверстие, тем длиннее должна быть направляющая втулка. Так как обработка может производиться в несколько проходов, то в целях экономии времени на смену втулок и для повышения точности обработки инструмент *1* иногда помещают в переходную оправку *2*, которая направляется неподвижной втулкой *3* (рис. 74, *а*).

При диаметре обрабатываемых отверстий 100 мм и более инструментальную державку *4* изготавливают составной, вращающейся с гильзой *8* в промежуточной втулке *5*, которая поступательно (за счет шпонки *9*) перемещается в направляющей втулке расточного приспособления (рис. 74, *б*). Этим уменьшается окружная скорость вращающихся элементов, возможность засорения и обеспечивается надежная смазка.

Если при вертикальной обработке инструмент направляется с двух сторон (под деталью и над ней), то нижний его конец, как правило, направляется вращающейся втулкой, так как при неподвижной втулке вращающаяся и поступательно движущаяся державка инструмента затягивает во втулку мелкую стружку, которая приводит к заданию и повреждению трущейся пары. В таких случаях вращение втулки должно быть принудительным и для лучшего отвода стружки бурт втулки *7* следует выполнять коническим. Принудительное вращение достигается соединением втулки с оправкой при помощи пружинящего элемента *6* во втулке (рис. 74, *в*, *г*) или в оправке (рис. 74, *д*).

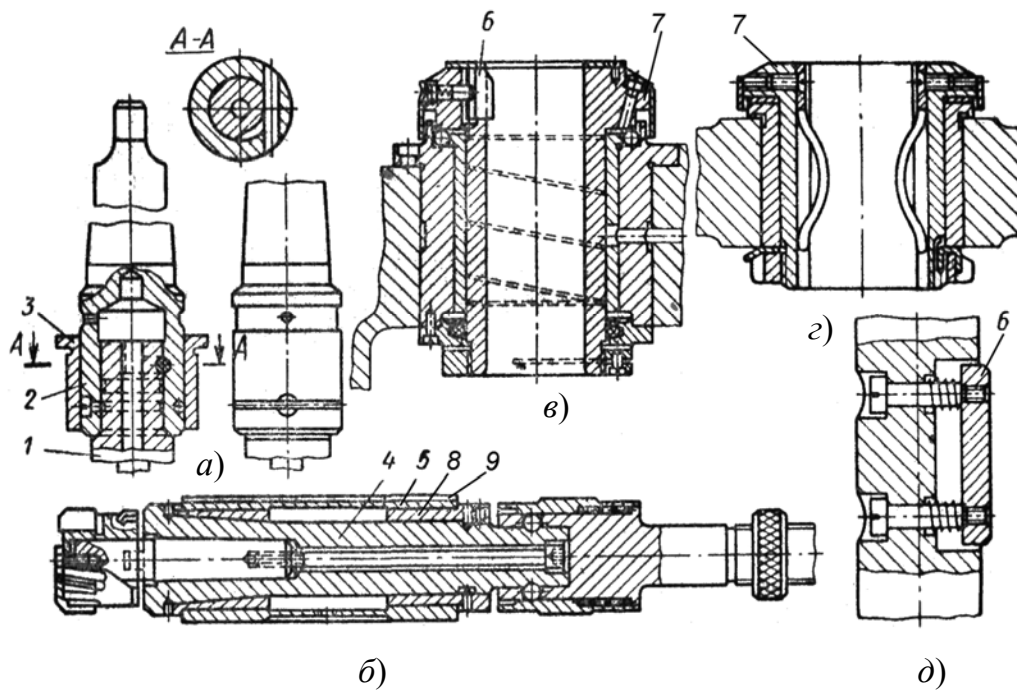


Рис. 74. Переходные оправки (а, б) и направляющие втулки (в, г)

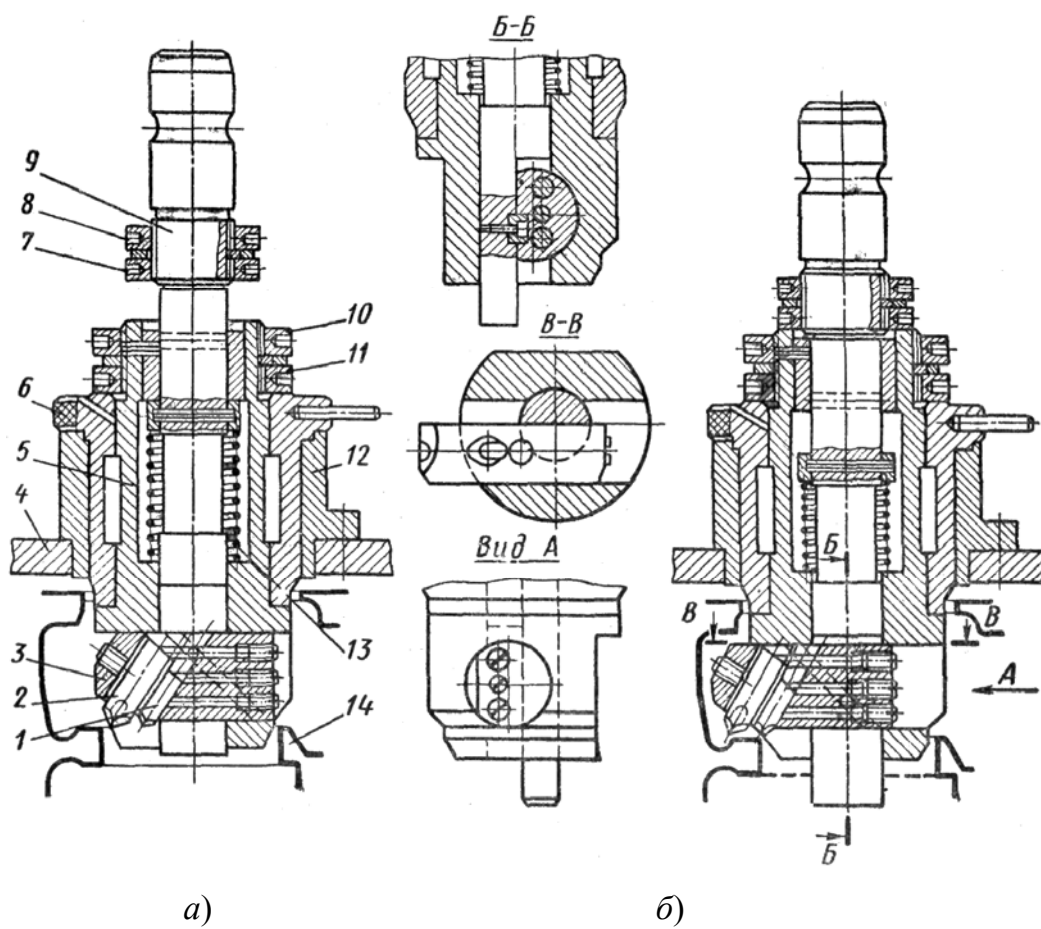


Рис. 75. Инструмент для обработки торца

Вращение верхней втулки требуется, когда из оправки выступают резцы. В этом случае для ввода оправки через втулку в ней создается один или два паза для прохода резцов, а чтобы обеспечить попадание резцов в эти пазы при вводе и выводе инструмента, оправка снабжается дополнительной шпонкой, непрерывно связанной с соответствующим пазом втулки.

При горизонтальной расточке применение вращающихся втулок вызвано стремлением предотвратить быстрый износ и заедание оправки.

В отличие от кондукторных втулок, расточные втулки выполняются с допусками в системе отверстия, по шестому качеству точности (H6/f5, H6/g5).

В целях повышения точности расточки иногда применяют втулки с регулированием зазора для оправки. Рабочие втулки выполняют из стали 20Х с цементацией и закалкой до твердости HRC 55–60. Втулку-подшипник часто выполняют из бронзы. В оправках со скользящей гильзой (рис. 74, б), втулку 5 выполняют из бронзы, а гильзу 8 из стали 20Х с цементацией и закалкой. Закалке подлежат также втулки, запрессовываемые в корпус приспособления. Иногда направляющие втулки выполняют из стали ХГ с закалкой, оправки же изготавливают из стали 45 с закалкой и хромированием рабочей поверхности. Зазоры, появляющиеся в сопряжениях оправок и втулок, устраняют поднятием сменных пластинок, врезанных в оправку с последующим шлифованием в сборе.

Для обработки труднодоступных мест заготовок применяют специальные инструменты, например для подрезки торца и снятия фаски в углублении (рис. 75) или для проточки канавки.

### **8.7. Приспособления для фрезерных станков**

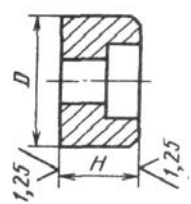
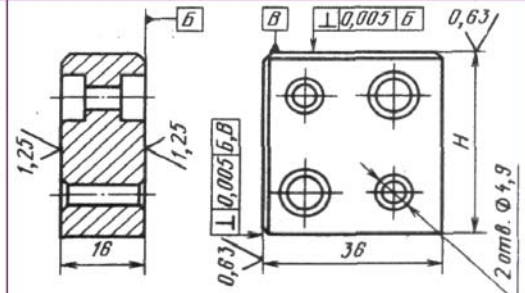
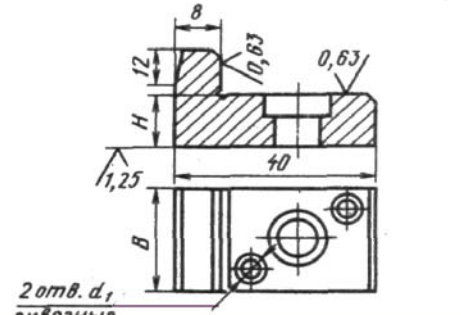
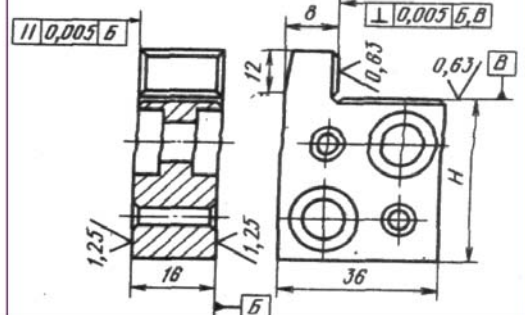
Конструкции установочных и зажимных элементов фрезерных приспособлений такие же, как и для сверлильных. Однако так как при фрезеровании возникают вибрации обрабатываемой заготовки, сила закрепления заготовки и жесткость всей конструкции приспособления должны быть большими, чем у сверлильных приспособлений. Установка приспособления на станке и настройка инструмента, обеспечивающая снятие припуска в определенном месте заготовки, достигается применением в его конструкции направляющих шпонок и установов.

Направляющие шпонки 8 (рис. 76) служат для ориентации приспособления относительно оси стола станка, они закрепляются на нижнем основании корпуса приспособления и вводятся в один из пазов стола.

Этим достигается совмещение продольной оси приспособления с направлением подачи стола. Шпонки не только ориентируют приспособление на столе, но и повышают его устойчивость при обработке, создавая реакции силам резания и разгружая крепежные болты приспособления. Поэтому их целесообразно применять и при обработке плоскостей, положение которых определяется только расстоянием от установочной базы заготовки, т. е. таких поверхностей, для обработки которых не обязательно точное совмещение осей стола и приспособления.

Таблица 22

### Стандартные установовы

Установовы	ГОСТ	Эскиз	Размеры, мм	
			$D$	$H$ (поле допуска $h6$ )
Высотные	13443-68		16 25 40	8 10 12
Высотные торцовые	13444-68		$H$ выбирают из ряда 32, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 110	
Угловые	13445-68		16 25 40	8 10 16
Угловые торцовые	13446-68		$H$ выбирают из ряда 32, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 110	

Установами называют направляющие элементы фрезерных приспособлений (табл. 22) в виде пластин, угольников, призм и т. п., с помощью которых проверяется положение инструмента относительно установочных элементов приспособления. Располагаются установы обычно на корпусе приспособления на расстоянии 3–5 мм от траектории обработки, которое проверяется с помощью щупов. Стол станка вместе с установленным на нем приспособлением подводится к инструменту на расстояние толщины щупа от инструмента до установа (см. рис. 10, а, «размер под щуп»), и это расстояние в продолжение всей дальнейшей обработки остается неизменным. Правильность этого расстояния проверяется при обязательном вращении фрезы. Непосредственное соприкосновение установа с фрезой не допускается во избежание повреждения зубьев фрезы о закаленную поверхность установа.

Не рекомендуется использовать в качестве установов поверхности зажимных или установочных элементов приспособления. При одновременной обработке заготовок группой фрез, надетых на одну или несколько оправок, с помощью установа проверяют только одну фрезу на каждой оправке. Размеры фрез в комплекте и их взаимное расположение должны контролироваться вне станка.

Установ должен располагаться на приспособлении так, чтобы удобно было его устанавливать и наблюдать за его положением. Чтобы указываемый на чертеже приспособления «размер под щуп» обеспечивал получение требуемого размера при обработке заготовки, необходимо, чтобы рабочие поверхности установов были связаны точными размерами с установочными элементами для заготовок. Обычно эти размеры выполняются с допуском  $\pm 0,05$  мм. Для черновой обработки этот допуск может быть увеличен до  $\pm 0,1$  мм. Поэтому при замене изношенных установочных элементов положение их выверяют по рабочим поверхностям установов.

## **8.8. Проектирование кассетных фрезерных приспособлений**

При обработке мелких заготовок для повышения производительности применяют (рис. 76) так называемые кассетные приспособления. Предварительная загрузка заготовок в запасную кассету совмещает основное и вспомогательное время, увеличивая производительность обработки.

Количество заготовок, обрабатываемых в год (годовая программа) с помощью такого приспособления, вычисляется

$$N = 60F / T_1,$$

где  $F$  – действительный годовой фонд времени станка, час;  $T_1$  – время обработки одной заготовки, мин:

$$T_1 = (L_{\text{рх}} / S_{\text{м}} + t_{\text{в}} + t_{\text{обс}}) / m,$$

где  $L_{\text{рх}}$  – длина рабочего хода при обработке всех заготовок в кассете;  $t_{\text{в}}$  – вспомогательное время на установку-снятие кассеты и управление станком;  $t_{\text{обс}}$  – время технического и организационного обслуживания;  $m$  – число заготовок в одной кассете;  $S_{\text{м}}$  – минутная подача.

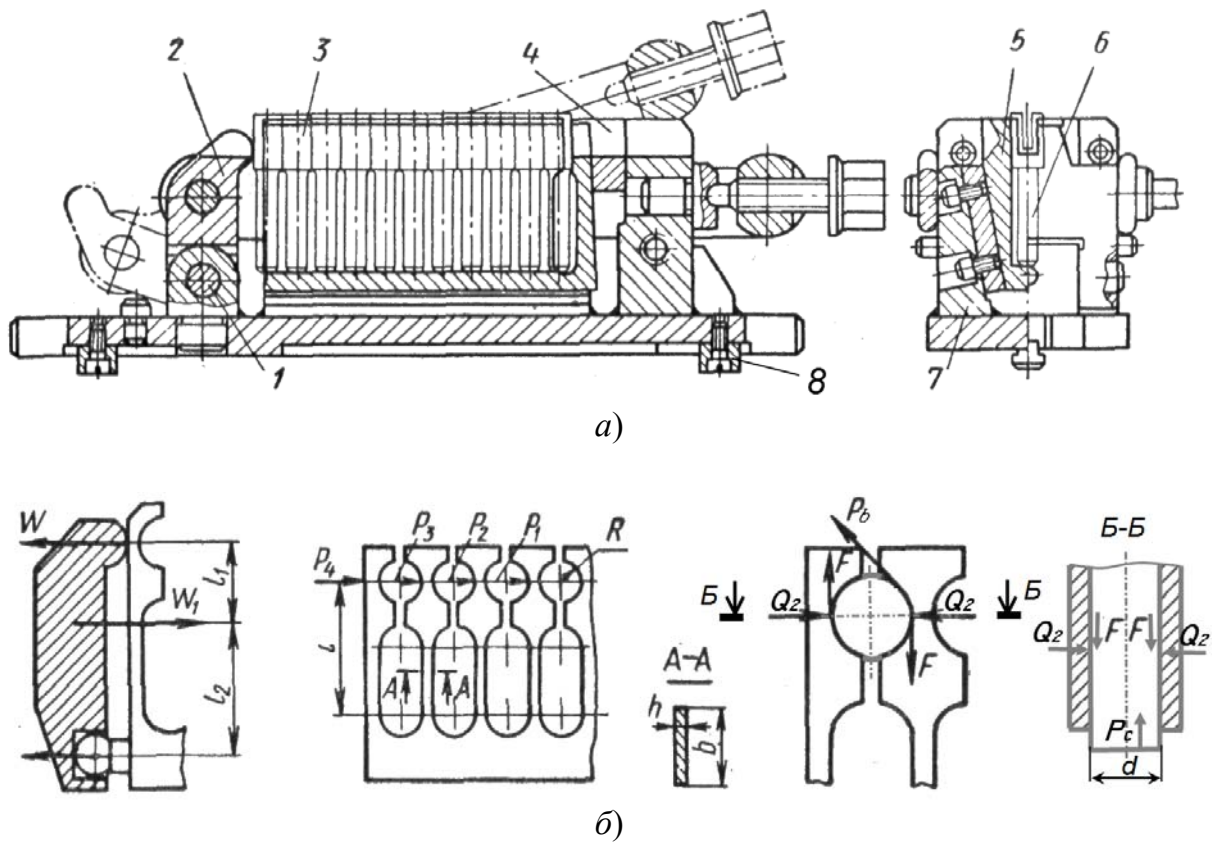


Рис. 76. Кассетное приспособление и схема для расчета

Кассета 3 представляет собой элемент приспособления, создающий комплект установочно-зажимных поверхностей для  $m$  заготовок. Сила закрепления, действующая на кассету  $W$ , создается любым приводом, развивающим силу  $W_1$ . Для схемы (рис. 76, б):

$$W = W_1 \cdot l_2 / (l_1 + l_2).$$

Необходимо, чтобы обеспечивалось условие

$$W \geq (Q_1 + Q_2),$$

где  $Q_1 = \sum_{i=1}^n P_i$  – сумма сил изгиба всех лепестков кассеты для выбора всех зазоров между заготовками и гнездами кассеты;  $P_i$  – сила изгиба  $i$ -го лепестка, определяемая по величине упругого прогиба  $y_i = P_i \cdot l^3 / (3 \cdot E \cdot I)$ , различного для каждого из них, так как каждый лепесток кассеты можно рассматривать как консольно заделанную балку длиной  $l$  (рис. 76, б);  $Q_2$  – сила, необходимая для закрепления заготовки, определяемая схемой сил, действующих на заготовку при обработке с учетом коэффициента запаса.

Для случая (рис. 76, б), когда на заготовку действуют составляющие силы резания  $P$ , которые могут сдвигать и вращать заготовку

$$P = \sqrt{P_c^2 + P_b^2},$$

где  $P_c$  – составляющая силы резания, сдвигающая заготовку;  $P_b$  – составляющая силы резания, вращающая заготовку; силу резания  $P_c$  можно принять расположенной по касательной к заготовке радиусом  $d/2$ , а силы трения  $F$ , зависящие от  $Q_2$  и коэффициента трения между гнездом кассеты и заготовкой. Для неподвижности заготовки должны выполняться условия:

$$K \cdot P_c \leq 2 \cdot f' \cdot Q_2,$$

$$K \cdot P_b \leq 2 \cdot f' \cdot Q_2,$$

где  $f'$  – приведенный коэффициент трения между заготовкой и гнездом кассеты;  $K$  – суммарный коэффициент запаса.

Тогда с учетом наиболее неблагоприятного случая воздействия сил резания на заготовку

$$W \geq \sum_{i=1}^n 3 \cdot y_i \cdot E \cdot I / l^3 + Q_2,$$

где  $Q_2 = \max\{K \cdot P_c / (2 \cdot f'); K \cdot P_b / (2 \cdot f')\}$ .

В зависимости от конструкции кассеты проверяют по напряжению изгиба максимально деформируемые лепестки. Например, для рис. 76, б стрела прогиба четвертого лепестка  $y_4 = 4 \cdot S$  равна сумме

четырёх зазоров между заготовками и гнездами кассеты, а сила, вызывающая такой прогиб, определяется из формулы

$$P_4 = 3(4 \cdot S)E \cdot I / l^3.$$

Напряжение изгиба четвертого лепестка определяется

$$\sigma_4 = M / I_4 = P_4 \cdot l \cdot 6 / (b_4 \cdot h_4^3),$$

где  $b_4$  и  $h_4$  – ширина и толщина основания четвертого лепестка;  $I_4 = b_4 \cdot h_4^3 / 6$  – момент сопротивления изгибу прямоугольного сечения четвертого лепестка.

Размеры кассеты зависят от размеров и количества обрабатываемых заготовок.

## 8.9. Приспособления для зуборезных станков

По группе оборудования для обработки зубчатых колес различают приспособления к зубодолбежным, зубострогальным, зубофрезерным и другим станкам. В зависимости от формы зуба различают приспособления для обработки цилиндрических, конических, шевронных зубчатых колес и валов, а также червячных колес.

Приспособление (рис. 77, а) для обработки круглым долбяком на зубодолбежном станке цилиндрического зубчатого колеса 3 состоит из опорной шайбы 2, оправки 1, переходной втулки 6, зажимной шайбы 4 и гайки 5. Оправка 1 закрепляется неподвижно в коническом гнезде вращающегося стола. Применением переходных втулок 6 достигается использование одной оправки для установки зубчатых колес с разными диаметрами центрального отверстия. Крепление заготовки в таких приспособлениях должно производиться по возможности ближе к месту обработки, поэтому зажимная шайба 4 действует на венец зубчатого колеса, а не на его ступицу. Гайку 5 при смене заготовки отвинчивают полностью, хотя при многостаночном обслуживании для уменьшения вспомогательного времени рекомендуется применять гайки и быстросменные шайбы (рис. 41, а).

На рис. 77, б в приспособлении для обработки на зубострогальном станке конических зубчатых колес заготовка 7 надевается на сменный фланец 8 оправки 13 и зажимается ключом при помощи гайки 9 и шайб 10 и 11. Для того чтобы шайбу 11, расположенную в углублении зубчатого колеса, можно было снять, ее поворачивают до совмещения трех ее выемок с соответствующими выступами шайбы 10.



Оправку 13, установленную в шпиндель станка, дополнительно затягивают тягой 14. Гайка 12 облегчает извлечение оправки из гнезда шпинделя.

При обработке зубчатых колес на зубофрезерных станках рекомендуется одновременно устанавливать несколько заготовок, чтобы повысить производительность станка путем использования значительного хода суппорта фрезы (рис. 77, в). Приспособление закреплено на горизонтальном столе станка болтами, расположенными в Т-образных пазах. Совмещение осей приспособления и стола проверяется индикатором. Конструкция обеспечивает надежное крепление заготовки и минимальное время на установку и снятие заготовки. Достигается это с помощью пневматического диафрагменного привода одностороннего действия.

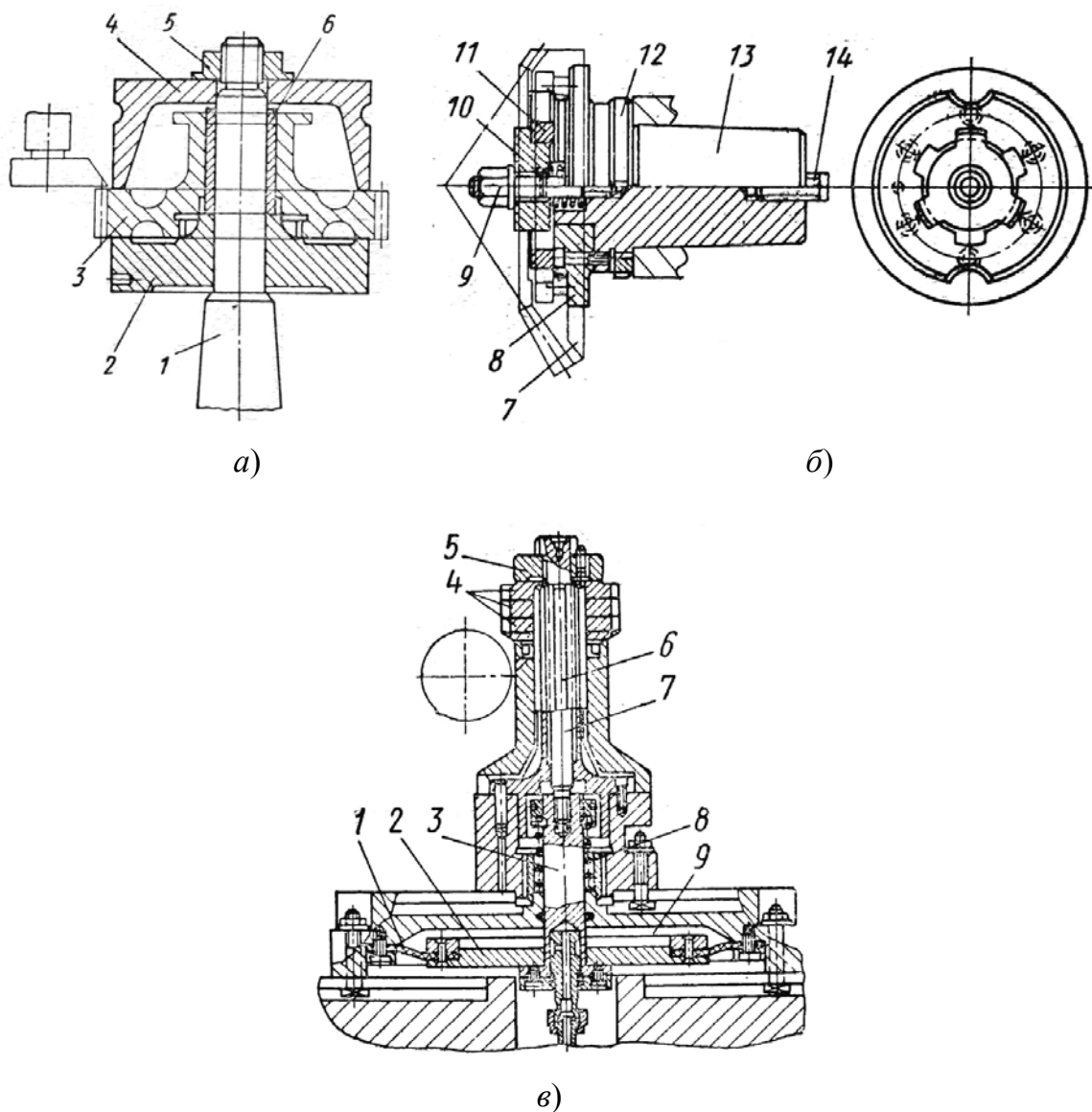


Рис. 77. Приспособления для зуборезных станков

При поступлении воздуха в полость 9 опускается державка 2 кольцевой диафрагмы 1. Опираясь на фланец штока 3, державка опускает шток и тягу 7, которая надежно прижимает съемную шайбу 5 к обрабатываемым заготовкам 4. От поворота заготовки на оправке 6 удерживаются шлицами внутри отверстия. При удалении воздуха из полости 9 пружина 8 поднимает шток 3 и тягу 7, шайбу 5 снимают, а затем снимают и обрабатываемые заготовки 4, так как диаметр отверстия в них больше головки тяги 7.

В серийном производстве часто используют СНП для обработки зубчатых колес с различными диаметрами отверстий или венцов. В таких случаях используют наличную оправку и базовый агрегат. Эту оправку используют только тогда, когда диаметр отверстия другой заготовки отличается от диаметра оправки настолько, что допускает применение промежуточной втулки. Для установки заготовок с большими диаметрами меняют опорные фланцы, зажимные шайбы, промежуточные втулки.

Для обеспечения высокой точности центрирования заготовок при обработке зубьев используют оправки и патроны с гидропластом.

### **8.10. Основные конструкции оснастки для автоматизированного производства**

В зависимости от требований производства может осуществляться частичная или полная автоматизация приспособлений. При частичной автоматизируется один или несколько приемов работы: загрузка заготовки в рабочую зону; закрепление и открепление заготовки; поворот (перемещение), фиксация и закрепление поворотных (подвижных) частей приспособления; выталкивание и выгрузка заготовок после обработки, измерение поверхностей в процессе обработки и т. п. Приспособления с частичной автоматизацией называются полуавтоматическими (автоматизированными).

В автоматических приспособлениях все приемы выполняются без участия рабочих. Для этого используются конечные выключатели, сервозолотники и упоры, приводимые в действие подвижными рабочими органами станков. Автоматические приспособления являются элементами станков-автоматов. Возможно с помощью автоматических приспособлений универсальные станки и полуавтоматы превращать в станки-автоматы.

На автоматических линиях применяют два типа приспособлений: стационарные и приспособления-спутники.

В стационарных приспособлениях обычно используют установку на плоскость и два отверстия, опорные пластины являются продолжением направляющих планок транспортирующих устройств, а выдвижные пальцы имеют конические фаски для выравнивания заготовок на позициях обработки. Чаще всего заготовки перемещаются по плоскости до упора и после этого базируются выдвижными пальцами, входящими в базовые отверстия.

Приспособления-спутники применяют для обработки заготовок сложной конфигурации, которые базируют и закрепляют в этих приспособлениях в начале автоматической линии. Все стадии обработки выполняются при одной установке заготовки, обеспечивая принцип постоянства баз.

Закрепление и открепление заготовок в приспособлениях-спутниках выполняют винтовыми зажимами с помощью многошпиндельных электромеханических гайковертов в начале и конце автоматической линии. Перемещение спутников по позициям автоматической линии производится конвейером, а фиксация с точностью не менее 0,05 мм – при помощи двух конических пальцев, входящих в конические втулки спутника.

Важной отличительной чертой оснастки для автоматизированного производства и автоматических линий является наличие в их составе контрольно-блокировочных устройств.

В автоматизированном производстве автоматический контроль направлен не только на измерение обрабатываемых поверхностей, но и на определение правильности положения заготовки в приспособлениях станков-автоматов. Для этого используют контактные датчики, связанные с исполнительными и блокировочными устройствами.

При правильном положении и зажиме заготовка надежно контактирует всеми своими базовыми поверхностями с установочными элементами и при этом воздействует на датчики, отключающие блокирование системы, управляющей движениями обработки.

При неправильном положении заготовки ее воздействие на датчики или хотя бы на один из них отсутствует, что приводит к блокированию системы управления обработкой. В этом случае станок не может включиться, подается световой или звуковой сигнал, а исполнительные механизмы могут либо переустанавливать заготовку до касания с установочными элементами и наконечниками датчиков, либо, если это невозможно, переместить ее в сборник для бракованных заготовок.

При сверлении нескольких глухих отверстий определенной глубины в заготовках корпусных деталей на многошпиндельных агрегатных станках автоматических линий возможны такие виды брака, как залом сверла, сверление не на полную глубину, отсутствие одного или нескольких отверстий. Поступление таких бракованных заготовок на другие позиции автоматической линии может привести к поломкам инструмента (зенкеров, разверток, метчиков) и оборудования. Поэтому необходим автоматический контроль – путем встраивания автоматических контрольно-блокировочных приспособлений в автоматические линии. С этой целью каждая обрабатываемая заготовка после сверления в ней отверстий автоматически подается на контрольную позицию. Освобождение отверстий от стружки производят либо путем поворота заготовки с воздействием вибратора, либо выдуванием стружки из отверстий при вводе в них щупов.

### **8.11. Конструирование сборочных приспособлений**

Конструирование сборочных приспособлений начинают с уточнения схемы установки базовых и сопряженных деталей изделия. Затем определяют тип, размеры, количество и относительное положение установочных элементов. По силам, возникающим при сборке, устанавливают места приложения и рассчитываются значения сил для закрепления базовых деталей и сборочных единиц, а также сил деформирования деталей. По этим силам рассчитывают зажимные устройства и их приводы. Далее выбирают элементы для направления собираемых деталей, вспомогательные элементы и устройства и затем корпуса приспособлений.

При конструировании сборочных приспособлений необходимо учитывать базирование сопрягаемых деталей. В зависимости от требуемой точности их относительного положения при сборке и в изделии определяют допуски на размеры установочных и направляющих элементов, выбирают расчетные параметры для расчета сборочных приспособлений на точность.

Особое внимание следует уделять конструированию приспособлений для автоматической сборки. Для них необходимо создавать свободные зоны для перемещений автоматически действующих элементов, для загрузки деталей и выгрузки готовых сборочных единиц; предусматривать необходимую точность позиционирования при перемещениях, блокировку последующих действий, при предыдущих

неправильных перемещениях, положениях и браке деталей; обеспечивать надежность взаимодействия загрузочно-выгрузочных, транспортирующих и других устройств, безопасность работы. При больших силах воздействия на собираемые детали следует учитывать возможную их остаточную деформацию и влияние ее на точность сборки.

В сборочных приспособлениях, в которых собираемые детали подвергаются нагреву (сварка, пайка, склеивание клеями горячего отверждения), должны использоваться детали из жаростойких, жаропрочных, коррозионностойких и износостойких, а иногда изоляционных материалов, обладающих хорошими теплопроводными или изоляционными свойствами. Сами детали по конструкции должны быть жесткими. Следует избегать применения тонких и длинных плит и рычагов. Такие приспособления не следует красить обыкновенными красками, в них самих нельзя применять паянные и клеевые соединения, масляные смазки. При конструировании таких приспособлений надо учитывать тепловые зазоры между установочными элементами и базовыми поверхностями сопрягаемых деталей и сборочных единиц, между деталями подвижных устройств.

При пайке или сварке индукционным нагревом соединяемых деталей близкие к индуктору детали сборочных приспособлений рекомендуется выполнять из неметаллических материалов (микалита, эпоксипласта, армированных стеклотканью, керамики), обладающих химической стойкостью к флюсам и высокими изоляционными свойствами. Если все же используются металлические детали, то их нельзя выполнять в виде кольца или замкнутой петли (спираль), так как в этом случае в них может индуцироваться ток высокой частоты. Такие детали делают пустотелыми, и через них для охлаждения пропускается проточная вода.

Приспособления для сборки склеиванием и сваркой подвергаются периодической очистке от накапливающихся частиц клея и брызг металла. Большинство клеев не удаляется растворителями. Поэтому нужно предусмотреть возможность разборки приспособлений для нагрева загрязненных деталей до температуры 300 °С, при которой клеи обычно разрушаются. После этого детали зачищают щетками и скребками. Брызги приваренного металла, как правило, удаляют металлическими щетками, абразивами с последующей проверкой точности приспособлений в собранном виде.

## 8.12. Методы и точность измерений

Измерение – это определенная последовательность использования приемов, принципов и средств измерений.

При прямых измерениях значения измеряемой величины находят из опытных данных, а при косвенных измерениях по известной зависимости от величин, подвергаемых прямым измерениям. Например, зазор в сопряжении можно измерить как расстояние между охватываемой и охватывающей поверхностями (прямое измерение), или как разность размеров этих поверхностей (косвенное измерение).

Абсолютные измерения основаны на прямых измерениях величин (измерение линейкой, взвешивание и т. п.). При относительных измерениях полученную величину сравнивают с величиной, принятой за меру (эталон), например, получение отклонений стрелки индикатора от настроенного размера.

При методе непосредственной оценки значение величины определяют по отсчетному устройству прибора (измерения штангенциркулем). При методе сравнения с мерой фактические значения сравнивают с мерой (измерения калибром).

Поэлементный метод характеризуется измерением каждого параметра в отдельности, например, овальности, эксцентриситета и т. п. При комплексном методе измеряют суммарный показатель качества, на который влияют отдельные составляющие (на радиальное биение цилиндрической поверхности влияют некруглость, эксцентриситет, огранка).

Точность измерения ( $\tau_X$ ) величины  $X$  – характеристика, отражающая степень совпадения результата измерения ( $X_{\text{изм}}$ ) с истинным значением измеряемой величины  $X$ . Количественно точность измерения выражают обратной величиной модуля относительной погрешности ( $\delta_X$ ):

$$\tau_X = 1/|\delta_X|.$$

Относительная погрешность ( $\delta_X$ ) измеряемой величины  $X$  – это отношение абсолютной погрешности измерения ( $\alpha_X$ ) к истинному значению измеряемой величины  $\delta_X = \alpha_X / X$ .

Абсолютная погрешность измерения ( $\alpha_X = X - X_{\text{изм}}$ ) – это отклонение результата измерения  $X_{\text{изм}}$  от истинного значения измеряемой величины  $X$ . За истинное значение принимают значение, определенное с погрешностью на порядок меньшей, чем определяемая

погрешность измерений, или значение, определенное с использованием вероятностных методов.

Суммарная погрешность измерения ( $\Delta_{\Sigma}$ ) состоит из систематических и случайных погрешностей и определяется по формуле

$$\Delta_{\Sigma} = \pm \sum \Delta i_{\text{сис}} \pm \sqrt{\sum \Delta^2 i_c},$$

где  $\pm \sum \Delta i_{\text{сис}}$  – сумма систематических погрешностей (с учетом знаков);  $\pm \sqrt{\sum \Delta^2 i_c}$  – векторная сумма случайных погрешностей (знак «плюс» или «минус» принимается такой, который получился у суммы систематических погрешностей).

### 8.13. Определение точности средств измерений

Результаты измерений признаются достоверными, если погрешности измерений не превышают допустимых погрешностей измерений  $[\Delta]_i$ , которые для линейных размеров зависят от их допусков ( $[\Delta]_i \approx (0,2-0,35)T_i$ ) [10, с. 463]. Допустимая погрешность измерения включает случайные и неучтенные систематические погрешности.

Следует различать понятия – погрешность результата измерений и погрешность средства измерения (прибора). Погрешность результата измерений ( $\Delta_{\text{из}}$ ) является суммарной:

$$\vec{\Delta}_{\text{из}} = \vec{\Delta}_{\text{м}} + \vec{\Delta}_{\text{си}} + \vec{\Delta}_{\text{от}} \leq [\Delta], \quad (8.4)$$

где  $\Delta_{\text{м}}$  – суммарная погрешность метода измерений;  $\Delta_{\text{си}}$  – суммарная погрешность средств измерений;  $\Delta_{\text{от}}$  – суммарная погрешность отсчета показаний средств измерений;  $[\Delta]$  – допустимая погрешность измерений.

Погрешность метода измерений

$$\Delta_{\text{м}} = \Delta_{\text{Н}} + \sqrt{\varepsilon_{\text{б}}^2 + \varepsilon_{\text{иу}}^2 + \Delta_{\text{Т}}^2},$$

где  $\Delta_{\text{Н}}$  – погрешность меры (эталоны) и настройки по ней средств измерений;  $\varepsilon_{\text{б}}$  – погрешность базирования детали при измерении;  $\varepsilon_{\text{иу}}$  – погрешность, обусловленная измерительным усилием из-за смятия неровностей поверхностей, упругих деформаций детали и деталей средства измерений, непостоянством этой силы;  $\Delta_{\text{Т}}$  – погрешность из-за отклонений температуры от нормальной (20 °С).

Погрешность средства измерений возникает из-за погрешностей изготовления и сборки конструкции ( $\Delta_K$ ) и износа элементов ( $\Delta_{из}$ ) в процессе эксплуатации  $\Delta_{си} = \Delta_K + \Delta_{из}$ .

При использовании одного средства измерения к систематическим погрешностям результата измерения можно отнести погрешность средства измерения и погрешность его настройки. Остальные составляющие будут случайными и формула (8.4) примет вид

$$[\Delta] = \Delta_{си} + \Delta_H + \sqrt{\varepsilon_0^2 + \varepsilon_{иу}^2 + \Delta_T^2 + \Delta_{от}^2} \leq (0,2-0,35)T, \quad (8.5)$$

где  $T$  – допуск измеряемого параметра точности.

Случайные погрешности не должны превышать шестидесяти процентов допустимой погрешности измерений ( $0,6 \cdot [\Delta]$ ):

$$0,6 \cdot [\Delta] = \sqrt{\varepsilon_0^2 + \varepsilon_{иу}^2 + \Delta_T^2 + \Delta_{от}^2} \leq (0,1-0,2)T. \quad (8.6)$$

При этом предполагают, что случайные составляющие погрешности измерений распределяются по нормальному закону с достоверным интервалом 0,954, т. е. с диапазоном рассеяния  $\pm 2 \cdot \sigma$ . Тогда систематические погрешности результата измерения (погрешность средства измерения и его настройки) должны составлять

$$0,4 \cdot [\Delta] = \Delta_{си} + \Delta_H \leq (0,08 - 0,14)T. \quad (8.7)$$

#### **8.14. Оснастка для измерений и контроля отклонений формы поверхностей**

При определении отклонений формы с помощью универсальных и специальных средств измерений в качестве идеальных прямых и плоскостей используют поверочные чугунные плиты и плиты из твердых каменных пород (ГОСТ 10905–75), поверочные линейки типов ЛЧ, ЛТ, ЛД (ГОСТ 8026–75), угольники типа УЛ, УЛП, УЛЦ, УП, УШ (ГОСТ 3749–77), призмы (ГОСТ 5641–82), плоскопараллельные концевые меры длины (ГОСТ 9038–83), уровни (ГОСТ 3059–75), натянутые струны и оптико-механические приборы, в которых роль образцовой прямой выполняет луч света.

При измерении отклонений от прямолинейности и плоскостности (рис. 78, а) используют концевые меры 1 с одинаковыми размерами, на которые устанавливают поверочную линейку 2. Отклонения определяют либо с помощью дополнительной меры 4 и щупов 6, либо с помощью измерительных головок 5, установленных на штативах.



При контроле параллельности плоскостей детали  $D$  между собой, ее устанавливают нижней плоскостью на поверочную плиту с нулевым отклонением от горизонтали, а на верхнюю поверхность ставят меры  $1$ , линейку  $2$  и уровень  $3$ , и подбирая меры  $1$  с одной стороны, доводят уровень  $3$  на линейке до нуля. Разница мер определяет не параллельность плоскостей детали.

Отклонение от прямолинейности вертикальных поверхностей можно определять сравнением с параллельно натянутой струной. Расстояние между струной и деталью определяют с помощью микроскопа. Для контроля не плоскостности можно использовать накладной поворотный плоскомер (рис. 78, б), снабженный индикаторной головкой с ценой деления шкалы 10 мкм.

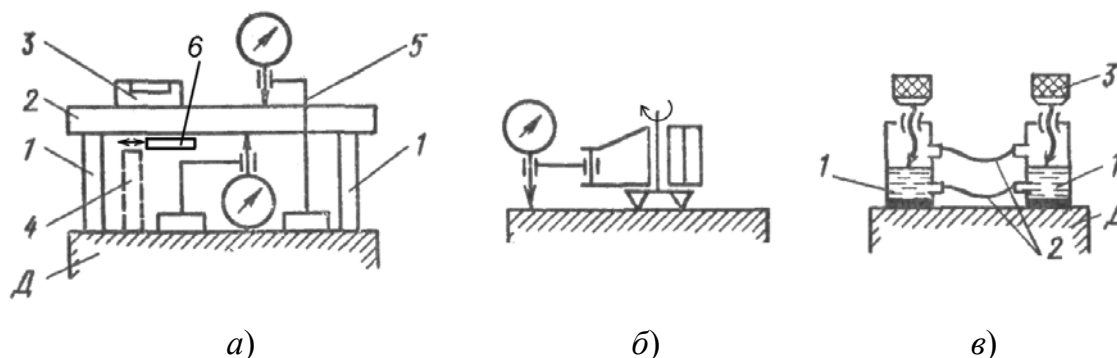


Рис. 78. Схемы измерений отклонений от параллельности, прямолинейности, плоскостности

Для ускорения контроля выполняют плоскомеры в виде накладной плиты с несколькими индикаторами, которые настраивают на ноль на поверочной плите. Отклонения от нулей стрелок индикаторов определяют не плоскостность реальной поверхности детали в точках касания.

Выпускают также плоскомеры с гидростатическими уровнями, действующими по принципу сообщающихся сосудов (рис. 78, в). При этом используют две или несколько измерительных головок  $1$ , соединенных между собой резиновыми шлангами  $2$ . Установив головки в проверяемых точках, вращают микрометрические винты  $3$  до соприкосновения их острия с поверхностью жидкости, отсчет показаний выполняют по шкалам. Погрешность измерения  $\pm 0,01$  мм.

Для определения некруглости применяют одно- (рис. 79, а), двух- (рис. 79, б) и трехточечные приборы (рис. 79, в, г), а также кругломеры с прецизионным вращением головки (рис. 79, д) или детали (рис. 79, е) и интерферометры, сравнивающие контролируемую поверхность с об-

разцовой. Огранку с нечетным числом граней невозможно обнаружить ни одноточечными, ни двухточечными приборами. Для этого используют (рис. 79, в, з) базирование на призме или в кольце. При определении огранки на призме показания прибора умножают на коэффициент воспроизведения  $k$ , зависящий от числа граней  $n$  и угла призмы. При измерении в кольце за некруглость принимают разность между наибольшим и наименьшим показаниями прибора.

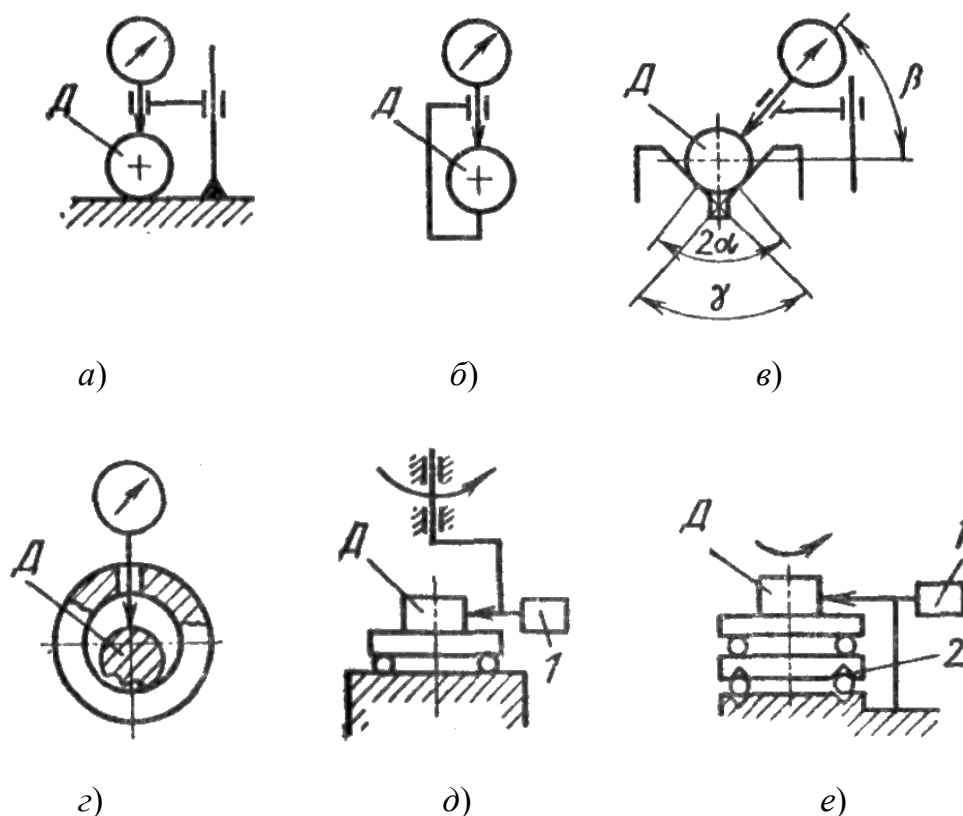


Рис. 79. Схемы контроля отклонений от цилиндричности

### 8.15. Оснастка для измерений и контроля расположения и шероховатости поверхностей

Отклонения расположения поверхностей детали  $D$  (параллельности, перпендикулярности, соосности и т. д.) измеряют от прилегающих прямых и поверхностей, воспроизводимых с помощью дополнительных средств: поперочных плит, линеек  $L$ , оправок  $O$ , угольников  $У$  или специальных приспособлений  $П$  (рис. 80, 81).

Существуют многочисленные схемы использования пневматических средств контроля, представленные в [11, с. 152–154].

В качестве универсальных средств контроля отклонений расположения широко используют координатные измерительные машины.

Измерение шероховатости поверхности выполняют путем сравнения с образцами визуально или на ощупь. ГОСТ 9378–75 устанавливает образцы шероховатости, полученные механической обработкой. Наборы или отдельные образцы имеют расположения неровностей поверхности прямолинейные, дугообразные или перекрещивающиеся дугообразные. На каждом образце указаны значение параметра  $Ra$  (мкм) и вид обработки образца. Визуально можно удовлетворительно оценить шероховатость поверхности  $Ra = 0,6–0,8$  мкм и более.

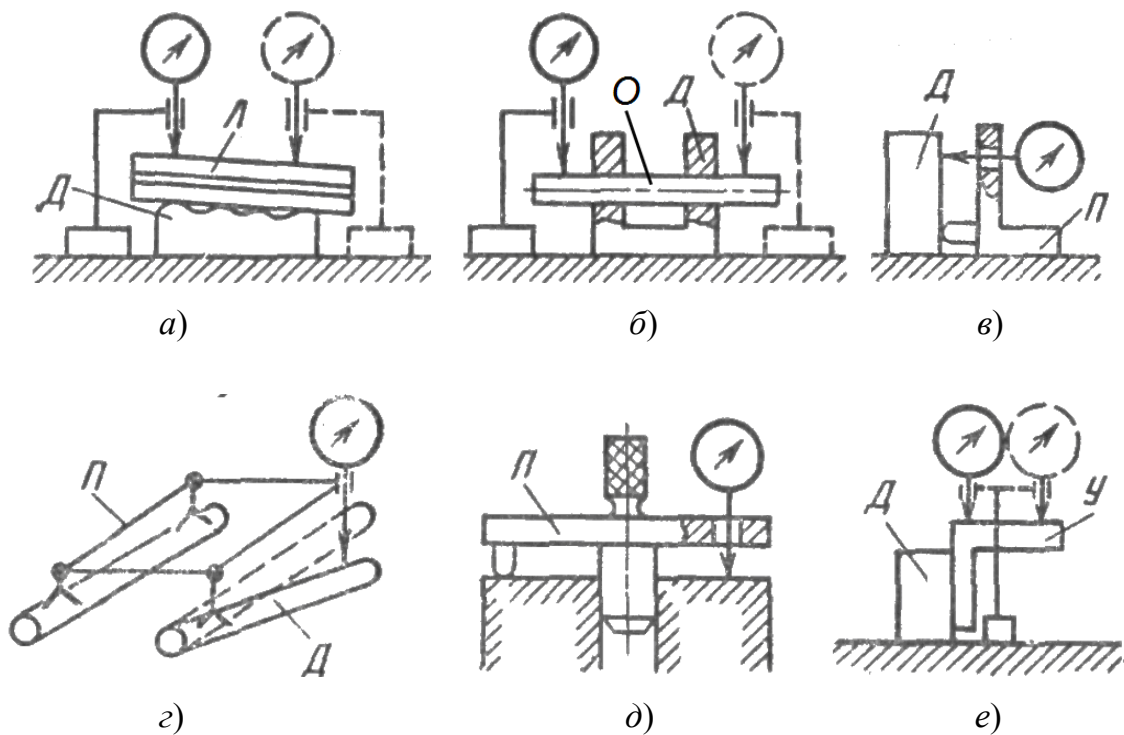


Рис. 80. Схемы измерений параллельности и перпендикулярности

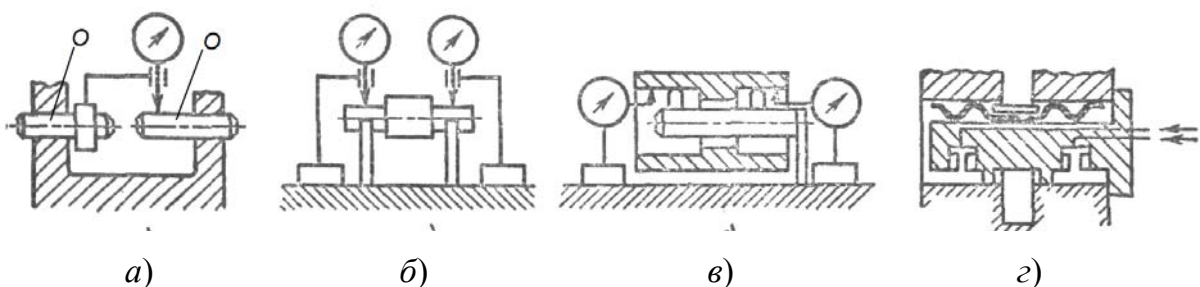


Рис. 81. Схемы контроля соосности валов и отверстий

Количественный контроль параметров шероховатости осуществляют бесконтактными методами (с помощью приборов светового сечения типа МИС-11 и ПСС-2, микроинтерферометров, растровых измерительных микроскопов типа ОРИМ-1 и др.) и контактными методами с помощью приборов (профилометров и профилографов).

### **8.16. Основные особенности проектирования и изготовления технологической оснастки**

Чертежи ТО разрабатывают проектные институты станкоинструментальной промышленности, конструкторские бюро отделов главного технолога предприятий, технологические бюро цехов.

УБП, базовые агрегаты УНП и СНП, комплекты УСП, установочные, зажимные, направляющие, измерительные и другие стандартизованные сборочные единицы и элементы изготавливают централизованно на специализированных предприятиях или в специальных цехах инструментальных заводов по принципам массового, крупносерийного и серийного производства.

Неразборные специальные приспособления (НСП), наладки к специализированным и универсальным наладочным приспособлениям (СНП и УНП), отдельные детали и сборочные единицы к компонентам УСП изготавливают индивидуально или малыми партиями в инструментальных цехах машиностроительных предприятий. Цеховые приспособления изготавливают инструментальные службы механических, механосборочных и сборочных цехов. Важную роль играет заводская унификация деталей ТО и широкое использование в конструкциях НСП стандартных деталей (плит, установочных, зажимных, направляющих, измерительных и других элементов).

Заготовки для деталей НСП изготавливают из сортового проката ковкой, сваркой и иногда литьем. Заготовки сложной формы крупных и средних размеров часто изготавливают сваркой из предварительно заготовленных плит, планок, угольников, шайб, втулок, косынок и других элементов, вырезанных из проката.

Заготовки корпусных и других ответственных деталей и сборочных единиц подвергают отжигу, а перед отделочной механической обработкой целесообразно производить их искусственное старение для снятия остаточных напряжений. Особое внимание нужно уделять сварным конструкциям. Перед сваркой все элементы очищают от ржавчины, окалины, масла и других загрязнений, собирают на струбцинах с выверкой относительного положения и предварительно «при-

хватывают» сваркой в отдельных точках. После снятия струбцин вновь производят выверку, и только потом, желательнее дуговой электросваркой, накладывают основные швы, которые для уменьшения температурных деформаций делают прерывистыми.

Детали с точно координированными отверстиями (корпусы, кондукторные плиты, диски делительных устройств и т. п.) могут изготавливать при допусках на межосевые расстояния в десятые доли миллиметра разметкой вручную, при допусках в сотые и тысячные доли мм обработкой на координатно-расточных станках. Повышение точности положения отверстий кондукторных плит увеличивает ресурс сверлильных приспособлений за счет увеличения допуска на износ кондукторных втулок.

Сокращению затрат и сроков изготовления НСП для серийного производства способствует отливка корпусных и других деталей из эпоксидных компаундов. Из них отливают ложементы (негативные отпечатки) для установки заготовок по фасонным поверхностям. Основанием ложемента обычно служит сварная коробка, в которую на определенном уровне устанавливают заготовку. Затем коробку заполняют компаундом, после затвердевания которого остается негативный отпечаток, предназначенный для базирования заготовок по фасонной поверхности.

Сборку НСП и наладок к СНП и УНП обычно производят с выполнением пригоночных работ и обработкой «по месту». Для получения сопряжений требуемой точности используют припиливание, пришабривание, притирку (доводку). В процессе сборки производят точную выверку относительного положения деталей и сборочных единиц приспособлений с последующей фиксацией этого положения контрольными штифтами. Для неподвижных соединений деталей, работающих на сдвиг и сжатие, целесообразно применять склеивание. Разборка клеевых соединений в случае необходимости ремонта приспособлений возможна при нагреве соединений до температуры 150–300°.

Для повышения точности НСП практикуют отделочную обработку некоторых деталей после сборки. С целью обеспечения малых отклонений от соосности нескольких отверстий в корпусных деталях, ступенчатых отверстий, а также ступенчатых наружных цилиндрических поверхностей их отделочную обработку следует производить с одной установки заготовки. Точность относительного положения рабочих поверхностей установочных элементов может быть повышена шлифованием после их установки на корпус приспособления.

Обработку элементов в сборе используют также при малых значениях параметров точности относительного положения рабочих поверхностей установочных элементов, направляющих и базовых поверхностей корпуса.

Сборку специальных приспособлений из элементов УСП осуществляют слесари-конструкторы непосредственно в производственных цехах или на централизованных участках УСП заводов. Исходными документами для сборки являются: заявка цехового технолога с операционным эскизом на оснащаемую операцию, для которой готовится данное приспособление. Необходимы также эскиз поступающей заготовки и эта заготовка, обработанная на предыдущей операции. В случае необходимости слесари-конструкторы по согласованию с технологом выполняют эскизы на специальные детали собираемого приспособления, которые передают в инструментальную службу цеха для изготовления.

На цеховые приспособления (простые накладные кондукторы, оправки, различные втулки, державки для инструмента) технолог или по его заданию конструктор инструментальной службы цеха делает чертежи, по которым станочники и слесари этой службы изготавливают эти приспособления.

### **8.17. Приемка и техническое обслуживание оснастки**

После изготовления ТО подлежит проверке и приемке. Проверка предусматривает:

- внешний осмотр на отсутствие дефектов на рабочих поверхностях;
- контроль комплектности в соответствии со сборочным чертежом;
- выявление плавности перемещений и легкости сдвига подвижных элементов, плотности посадок и герметичности соединений, опробирование приспособления на действие установочных, зажимных и измерительных элементов и механизмов, поворотных устройств, фиксаторов, выталкивателей, приборов;
- проверка и настройка оснастки по эталонным деталям;
- контроль точности изготовления оснастки по расчетным параметрам ТО и по заданным параметрам обработанных или собранных на них образцов заготовок и сборочных единиц.

Проверка встроенных в оборудование приспособлений совмещается с проверкой станков-автоматов. Подвесные кондукторы проверяются в комплекте с многошпindelными головками.

При соответствии оснастки всем требованиям чертежа она принимается работниками отдела технического контроля (ОТК) инструментального цеха. На ТО заводится паспорт, в который вносятся следующие данные: наименование и шифр оснастки; номер чертежа; наименование и номер операции; инвентарный номер и модель станка; дата приемки; заключение и подписи сдающего и приемщика (мастеров инструментального цеха и производственного).

Для учета сведений по эксплуатации оснастки в паспорте предусматриваются разделы для таких данных: время работы после приемки (или последней периодической проверки); число изготовленных деталей или собранных изделий; замечания технологов, мастеров и рабочих-станочников или сборщиков; дата и причина выхода из строя; дата ремонта; заключение о годности, дата и подписи. Эти сведения из паспорта должны учитываться при конструировании аналогичной оснастки.

Новые контрольные приспособления проходят наладку и проверку на точность. Они подвергаются полному метрологическому исследованию результатов измерений объектов в приспособлении с результатами измерений их на более точных приборах. При этом анализируются погрешности измерений стабильность показаний измерительных элементов, надежность работы. На принятое контрольное приспособление оформляется аттестат, составляется инструкция по использованию и карта периодических проверок.

Организация эксплуатации оснастки является частью ППС (планово-предупредительной системы) обслуживания ТО, когда межремонтное обслуживание и контроль ТО выполняются строго по плану, а его ремонт производится по необходимости. Межремонтное обслуживание паспортизированных приспособлений включает эксплуатационный уход (наружный осмотр, выявление неисправностей и т. п.) и технический надзор за правильностью эксплуатации и хранения.

Периодичность проверок предусматривают в ТУ [8, табл. 11.1] для ТО повышенной точности (в маркировке стоит буква «П» – для обработки по 5–7 качеству). Для ТО нормальной точности (в маркировке с буквой «Н» для 8–13 качества) периоды между проверками удлиняют в 2,5 раза по сравнению с категорией «П».

Периодическая проверка контрольной ТО в процессе ее эксплуатации осуществляется цеховыми контрольными пунктами, являющимися подразделениями центральной измерительной лаборатории (ЦИЛ) ОТК, по индивидуальной инструкции при наличии чертежа ТО, аттестата и карты периодических проверок. ТО с обна-

руженными дефектами и предельным износом элементов направляют в ремонт в цеховую инструментальную службу или инструментальный цех. После ремонта ТО вновь проходит контроль ОТК и аттестацию. При этом применяются универсальные измерительные средства и эталонные детали.

Эталонные детали используют для настройки контрольной ТО, снабженной отсчетными измерительными устройствами. Эталонные детали имеют паспорта и сами проходят периодическую проверку в ЦИЛ. О годности делается отметка в аттестате и карте проверок с указанием даты и подписи работников ОТК.

Наладка, обслуживание и ремонт ТО на работающих станках не допускаются.



## ЛИТЕРАТУРА

1. Станочные приспособления : справочник : в 2 т. / ред. совет: Б. Н. Вардашкин (пред.) [и др.]. – М. : Машиностроение, 1984. – Т. 1 / под ред. Б. Н. Вардашкина, А. А. Шатилова. – 592 с.
2. Станочные приспособления : справочник : в 2 т. / ред. совет: Б. Н. Вардашкин (пред.) [и др.]. – М. : Машиностроение, 1984. – Т. 2 / под ред. Б. Н. Вардашкина, В. В. Данилевского. – 656 с.
3. Балакшин, Б. С. Основы технологии машиностроения / Б. С. Балакшин. – М. : Машиностроение, 1969. – 358 с.
4. Маталин, А. А. Технология машиностроения : учеб. для машиностр. вузов по специальности «Технология машиностроения, металлорежущие станки и инструменты» / А. А. Маталин. – Л. : Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1985. – 496 с. : ил.
5. Корсаков, В. С. Основы конструирования приспособлений : учеб. для вузов / В. С. Корсаков. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1983. – 277 с.
6. Болотин, Х. Л. Станочные приспособления / Х. Л. Болотин, Ф. П. Костромин. – 5-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1973. – 344 с.
7. Горошкин, А. К. Приспособления для металлорежущих станков : справочник / А. К. Горошкин. – 7-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1979. – 303 с.
8. Горохов, В. А. Проектирование технологической оснастки : учеб. для машиностр. специальностей высш. учеб. заведений / В. А. Горохов. – Минск : Бервита, 1997. – 344 с.
9. Справочник технолога-машиностроителя : в 2 т. / под ред. А. Г. Косиловой и Р. К. Мещерякова. – 4-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1985. – Т. 1. – 656 с. : ил.
10. Справочник технолога-машиностроителя : в 2 т. / под ред. А. Г. Косиловой и Р. К. Мещерякова. – 4-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1986. – Т. 2. – 496 с. : ил.
11. Якушев, А. И. Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения : учеб. для втузов / А. И. Якушев, Л. Н. Воронцов, М. М. Федотов. – 6-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1987. – 352 с. : ил.
12. Дипломное проектирование по технологии машиностроения : учеб. пособие для вузов / В. В. Бабук [и др.] ; под общ. ред. В. В. Бабука. – Минск : Выш. шк., 1979. – 464 с.
13. Уткин, Н. Ф. Приспособления для механической обработки / Н. Ф. Уткин. – Л. : Лениздат, 1969. – 299 с.
14. Справочник металлиста : в 5 т. – М. : Машгиз, 1959. – Т. 4. – 779 с. : ил.

15. Щербаков, С. А. Технологическая оснастка : практ. пособие к лаборатор. работам для студентов специальности Т.03.01.01 «Технология машиностроения» : в 2 ч. Ч. 1 / С. А. Щербаков, М. П. Кульгейко. – Гомель: ГГТУ им. П. О. Сухого, 2001. – 24 с.

16. Щербаков, С. А. Технологическая оснастка : практ. пособие к лаборатор. работам по одноим. курсу для студентов специальности Т.03.01.01 «Технология машиностроения» : в 2 ч. / С. А. Щербаков. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2003. – Ч. 2. – 42 с.

17. Щербаков, С. А. Технологическая оснастка : практ. рук. к контрол. работам по одноим. курсу для студентов специальности 36 01 01 «Технология машиностроения» / С. А. Щербаков. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2005. – 44 с.

18. Щербаков, С. А. Технологическая оснастка : практ. по одноим. курсу для студентов специальности 1-36 01 01 «Технология машиностроения» / С. А. Щербаков. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2009. – 56 с.

19. Щербаков, С. А. Расчеты при установке заготовки на ромбические пальцы приспособлений / С. А. Щербаков // Вестн. БГТУ. – 2004. – № 4. – С. 57–62.

20. Щербаков, С. А. Определение силы привода для прихватов с учетом сил трения / С. А. Щербаков // Вестн. БГТУ. – 2005. – № 4. – С. 18–22.

21. Щербаков, С. А. Задача о закреплении круглым эксцентриком / С. А. Щербаков // Вестн. БГТУ. – 2006. – № 4. – С. 89–92.

Учебное электронное издание комбинированного распространения

Учебное издание

**Щербаков Сергей Александрович**

# **ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ОСНАСТКА**

**Учебное пособие**

**Электронный аналог печатного издания**

Редактор  
Компьютерная верстка

*Н. В. Гладкова*  
*Н. Б. Козловская*

Подписано в печать 14.10.15.

Формат 60x84/16. Бумага офсетная. Гарнитура «Таймс».

Ризография. Усл. печ. л. 11,86. Уч.-изд. л. 11,45.

Изд. № 41.

<http://www.gstu.by>

Издатель и полиграфическое исполнение

Гомельский государственный

технический университет имени П. О. Сухого.

Свидетельство о гос. регистрации в качестве издателя

печатных изданий за № 1/273 от 04.04.2014 г.

246746, г. Гомель, пр. Октября, 48